



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО».  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ИМЕНИ В. А. КУЧЕРЕНКО

УДК 69.07; 624.042.7; 624.011

Рег. № НИР

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель генерального директора  
по научной работе  
АО «НИЦ «Строительство»  
д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.И. Звездов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДЕФИЦИТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ  
СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ОСНОВЕ ЗДАНИЙ НЕТИПОВОГО  
МАССОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА  
КОМПЛЕКСНОГО ДЕФИЦИТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ  
В СЕЙСМООПАСНЫХ РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Договор № 32312412569 – 1/2023 от 20.06.2023 г.

Директор  
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко  
д-р техн. наук

И.И. Ведяков

Москва 2023

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### Ответственный исполнитель,

Руководитель Центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ А.А. Бубис

### Исполнители:

Главный специалист по инженерной сейсмологии и геофизике д-р геол.-минерал. наук, профессор

\_\_\_\_\_ С.П. Никифоров (раздел 2)

Ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ С.А. Перетокин (раздел 2)

Заведующий ЛИК ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ З.З.Закраилов (раздел 10)

Заведующий ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ М.Р. Чупанов (раздел 2–8)

Заведующий сектором расчета сооружений ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ И.Р. Гизятуллин (раздел 3)

Инженер ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ И.Ю. Петров (раздел 4)

Инженер ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ А.Н. Хворова (раздел 5)

Инженер ЛССИМС ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

\_\_\_\_\_ И.А. Петросян (раздел 9)

## РЕФЕРАТ

Отчет 327 с., 233 рис., 115 источник.

ДЕФИЦИТ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ, МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕФИЦИТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ, МОНИТОРИНГ, СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК, УЩЕРБ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ЗДАНИЯ НЕТИПОВОГО МАССОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.

Объект исследований – критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства.

Предмет исследования – взаимосвязь сейсмической уязвимости зданий нетипового массового строительства (дефицита сейсмостойкости) и потенциального экономического ущерба от воздействия чрезвычайных ситуаций, вызванных землетрясениями катастрофического характера на территории Российской Федерации.

Цель работы – создание методики оценки дефицита сейсмостойкости жилой застройки на основе зданий нетипового массового строительства, а также оценка возможного потенциального ущерба при вероятностных сценариях сейсмических событий для сейсмоопасных регионов Российской Федерации. В рамках работы предложены критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства, позволяющие выполнить экспресс-мониторинг дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации на основе имеющихся сведений государственных реестров и фондов, а также оценен возможный потенциальный ущерб при вероятностных сценариях сейсмических событий для сейсмоопасных регионов Российской Федерации.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	14
1 Краткое содержание работы.....	19
2 Обзор и анализ нормативных технических документов, затрагивающих сравнительный анализ и систематизацию существующих методов оценки дефицита сейсмостойкости зданий .....	22
2.1 Обзор и анализ методов оценки дефицита сейсмостойкости зданий отечественной литературы, норм и правил .....	22
2.2 Обзор и анализ методов определения параметров сейсмической опасности .....	28
2.3 Выводы по разделу 2.....	60
3 Разработка критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства .....	62
3.1 Общие сведения по разделу.....	62
3.2 Исходные данные моделирования.....	74
3.3 Фоновая сейсмичность ОКС.....	78
3.4 Расчетная интенсивность сейсмического воздействия. Модель зон ВОЗ	82
3.5 Оценка дефицита сейсмостойкости ОКС по экспресс методике.....	93
3.6 Фактическая сейсмостойкость.....	120
3.7 Расчетный уровень воздействия .....	120
3.8 Функция уязвимости .....	121
3.9 Уязвимость.....	133
3.10 Ущерб.....	135
3.11 Масштабирование ущерба .....	136

3.12	Критерии дефицита сейсмостойкости.....	137
3.13	Выводы по Разделу 3.....	140
4	Многофакторная методика оценки сейсмостойкости с учетом паспортизация .....	142
4.1	Общие сведения по разделу.....	142
4.2	Параметры дефицита сейсмостойкости .....	142
4.3	Инженерное обследование.....	147
4.4	Паспортизация .....	154
4.5	Выводы по разделу 4.....	162
5	Апробации критериев и методики оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе жилых зданий нетипового (индивидуального) массового строительства .....	164
5.1	Общие положения .....	164
5.2	Иркутская область .....	165
5.3	Краснодарский край .....	196
5.4	Чеченская республика .....	227
5.5	Камчатский край.....	244
5.6	Категории жилых зданий, наиболее подверженных сейсмическому воздействию.....	275
5.7	Выводы по разделу 5.....	275
6	Проведение экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации .....	276
7	Основные пути повышения сейсмобезопасности зданий жилой застройки .....	289
8	Предложения по использованию результатов НИР при разработке нормативных документов .....	290

9	Результаты работ.....	291
10	Предложения по прикладному применению разработанной методики.....	292
11	Перспективы развития разработанной методики.....	293
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	295
	Приложение А. Паспорт сейсмостойкости ОКС.....	305
	Приложение Б. Конструктивные особенности ОКС .....	307
	Приложение В. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Иркутская область .....	317
	Приложение Г. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Иркутская область .....	318
	Приложение Д. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Краснодарский край .....	319
	Приложение Е. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Краснодарский край.....	320
	Приложение Ж. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Чеченская республика .....	321
	Приложение И. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Чеченская республика.....	322
	Приложение К. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Камчатский край.....	323
	Приложение Л. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Камчатский край .....	324
	Приложение М. Ответы и исходные данные для проведения экспресс мониторинга дефицита сейсмостойкости РФ.....	325
	Приложение Н. Проект документа «Порядок оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений».....	326

Приложение П. Проект документа «Определение основных параметров сейсмического риска» .....	327
--	-----

## Термины и определения

<b>Термин</b>	<b>Определение</b>
<b>Афтершок</b>	повторный подземный толчок, происходящий после основного землетрясения.
<b>Весовой коэффициент</b>	важность рассматриваемого фактора по его влиянию на общую сейсмостойкость конструкции.
<b>Гармонизированная передаточная функция</b>	отношение величины уязвимости зданий и сооружений к параметрам (материал стен) шкалы MSK-64.
<b>Дефицит сейсмостойкости</b>	неспособность зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, сохранять в течение установленного проектом срока службы эксплуатационные качества и технические характеристики в пределах заданных допусков с условием обеспечения надежности и безопасности для жизни людей и сохранности ценного оборудования.
<b>Диссипативная способность сооружения</b>	способность сооружения рассеивать энергию колебаний земной поверхности.
<b>Землетрясение</b>	Подземные толчки, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре или верхней мантии и передающиеся на большие расстояния в виде упругих колебаний земной поверхности.
<b>Интенсивность землетрясения (сейсмичность)</b>	сейсмический эффект на поверхности земли, определяемый степенью повреждений объектов капитального строительства, характером изменений земной поверхности и реакцией людей. Измеряется в



	баллах макросейсмической шкалы, а также в ускорениях, скоростях и смещениях.
<b>Категория технического состояния</b>	установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик степень эксплуатационной пригодности строительной конструкции, здания или сооружения.
<b>Корреляционные коэффициенты</b>	коэффициенты, позволяющие сопоставить классы уязвимости конструктивных типов зданий с гармонизированной с европейскими нормами шкалой или шкалами ШСИ и МСК-64.
<b>Коэффициент качества застройки</b>	коэффициент, интегрально учитывающий надежность и механическую безопасность зданий и сооружений на рассматриваемой территории.
<b>Коэффициент однородности застройки</b>	коэффициент, интегрально учитывающий равномерность распределения на рассматриваемой территории зданий и сооружений со схожими объемно-планировочными и конструктивными решениями.
<b>Коэффициент технического состояния застройки</b>	коэффициент, интегрально учитывающий степень повреждения и категорию технического состояния зданий и сооружений на рассматриваемой территории.
<b>Критерии (оценки)</b>	установленное проектом или нормативным документом количественное или качественное значение параметра, характеризующего прочностные или эксплуатационные характеристики строительной конструкции.
<b>Модель сейсмического воздействия</b>	Модель распространения силы воздействия землетрясения от его очага к точке наблюдения, выраженной в единицах степени воздействия (баллы интенсивности макросейсмической шкалы, например,

	МСК-64 и др.).
<b>Надежность (сейсмостойкость)</b>	способность зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, сохранять в течение установленного проектом срока службы эксплуатационные качества и технические характеристики в пределах заданных допусков с условием обеспечения безопасности для жизни людей и сохранности ценного оборудования при действии сейсмических воздействий расчетной интенсивности.
<b>Объект</b>	Физический объект жилищного фонда граждан, имеющий географическую привязку.
<b>Опасность сейсмическая</b>	интенсивность землетрясения, превышение которой возможно в данном пункте с заданной вероятностью в течение заданного интервала времени.
<b>Ответственность ОКС</b>	параметр, учитывающий экономические, социальные и экологические последствия в случае отказа ОКС.
<b>Оценка технического состояния</b>	установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций или зданий и сооружений в целом на основе сопоставления фактических значений критериев оценки со значениями этих же критериев, установленных проектом либо нормативным документом.
<b>Плотность застройки</b>	отношение площади застройки к рассматриваемой площади территории.
<b>Площадь застройки</b>	площадь горизонтального сечения по внешнему периметру здания или сооружения на уровне цоколя, включая выступающие части.
<b>Повреждаемость</b>	отношение ожидаемых затрат на восстановление объекта при повреждении землетрясением заданной

	интенсивности к его первоначальной стоимости.
<b>Повреждение</b>	любое нарушение целостности строительной конструкции или ее элементов в процессе эксплуатации, вызванное наличием дефектов либо внешними факторами.
<b>Предельное (недопустимое) состояние</b>	категория технического состояния объекта в целом, его конструкций и элементов, при котором его эксплуатация должна быть прекращена из-за нарушения требований безопасности или отклонения заданных параметров за установленные пределы.
<b>Расчет ущерба</b>	определение затрат на замещение или восстановление объектов в связи с воздействием на них смоделированных землетрясений.
<b>Риск (сейсмический)</b>	вероятность социальных и экономических потерь от возможных землетрясений за определенный промежуток времени в соответствии с сейсмической опасностью территории и уязвимостью объектов капитального строительства.
<b>Сбор нагрузок</b>	процесс назначения (расчета) приходящихся на здание или сооружение нагрузок.
<b>Синтетический каталог землетрясений</b>	каталог землетрясений, которые не происходили в реальности, моделирующий свойства реального каталога землетрясений для заданной территории на заданный интервал времени 20000 лет. Представляется в виде базы данных модельных параметров: дата и время землетрясения (годы, дробные значения), широта и долгота эпицентра (градусы), глубина гипоцентра (км), магнитуда. База данных имеет линейную структуру (файл), каждая запись соответствует одному модельному землетрясению.

<b>Степень повреждений</b>	установленная в процентном отношении доля потери нормативной несущей способности строительной конструкции.
<b>Уровень сейсмостойкости</b>	степень обеспечения способности здания или сооружения сохранять после расчетного землетрясения функции, предусмотренные проектом.
<b>Уязвимость (сейсмическая)</b>	отношение ожидаемых затрат на восстановление объекта при повреждении землетрясением заданной интенсивности к его первоначальной стоимости.
<b>Физический износ здания</b>	величина, характеризующая степень ухудшения технических и связанных с ними других эксплуатационных показателей здания на определенный момент времени.
<b>Функция повреждаемости</b>	зависимость повреждаемости от сейсмического воздействия.
<b>ШСИ</b>	Шкала сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546-2017.
<b>Экономический ущерб</b>	материальные потери и затраты, связанные с повреждениями (разрушениями) объектов.
<b>Сейсмический риск</b>	Вероятность социального и экономического ущерба, связанного с землетрясениями на заданной территории в течение определенного интервала времени.

## Перечень сокращений и обозначений

Сокращение	Определение
<b>ОКС</b>	Объект капитального строительства
<b>ТЗ</b>	Техническое задание
<b>ЖКХ</b>	Жилищно-коммунальное хозяйство
<b>НИР</b>	Научно-исследовательские работы
<b>АО «НИЦ «Строительство»</b>	Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство»
<b>РФ</b>	Российская Федерация
<b>ФЗ</b>	Федеральный закон
<b>ЖБ</b>	Железобетон
<b>МК</b>	Металлические конструкции
<b>ФКП Росреестра</b>	ФГБУ «Федеральная кадастровая палата Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии»
<b><math>R_u</math></b>	Критерий дефицита сейсмостойкости жилой застройки, соответствующий величине общего абсолютного ущерба от единичного сейсмического события для региона
<b><math>R_s</math></b>	Критерий дефицита сейсмостойкости жилой застройки, соответствующий величине ущерба, отнесенной к общей площади застройки в регионе
<b><math>R_p</math></b>	Критерий дефицита сейсмостойкости жилой застройки, соответствующий величине ущерба, отнесенной к численности населения по региону
<b><math>R_{us}</math></b>	Критерий дефицита сейсмостойкости жилой застройки, соответствующий величине приведенного ущерба, отнесенной к стоимости строительства

## **Введение**

В настоящее время в нормативном поле Российской Федерации не существует единой общепринятой методики оценки дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки. Существующие подходы и методики не позволяют выполнить оценку дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки без наличия детальных результатов обследования и спрогнозировать потенциальный экономический ущерб от гипотетических землетрясений. При этом существующие подходы и методики по оценке дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки на основе расчетно-аналитических методов и методов с применением инструментального обследования и диагностики зданий позволяют достоверно оценить сейсмостойкость отдельных конкретных зданий, для которых выполнялись детальные исследования, но не позволяют решить данную проблему для зданий нетипового (индивидуального) массового строительства на уровне регионов и страны в целом. В связи с чем отсутствует комплексная качественная и количественная оценка дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки на территории Российской Федерации, при этом региональные коэффициенты, принятые для определения объемов финансирования, выделяемого для повышения сейсмостойкости зданий существующей застройки регионов Российской Федерации, противоречат текущему положению дел в регионах. Так, для одних регионов, более благоприятных в части текущего комплексного дефицита сейсмостойкости существующей застройки и возможности реализации потенциальных землетрясений, указанные региональные коэффициенты, установлены выше, чем для регионов менее благоприятных в данном отношении, при этом сами коэффициенты были установлены в начале текущего столетия и не подвергались актуализации.

В результате различных ведомственных анализов [46], направленных на повышение устойчивости зданий нетипового массового строительства и

систем жизнеобеспечения в сейсмических районах страны выявлено следующее:

- 43 региона с населенными пунктами, которые имеют повышенную сейсмическую опасность для зданий и сооружений независимо от уровня ответственности, и 29 из них имеют нормированную сейсмическую опасность для жилых зданий нетипового массового строительства;
- решать задачу обеспечения сейсмической безопасности страны в настоящее время существующими принципами и подходами к реализации мероприятий по сейсмоусилению объектов не представляется возможным;
- реализуемые мероприятия не приводят к значимым результатам с точки зрения удовлетворения потребности в сейсмоусилении объектов.

Действующие принципы и подходы к реализации мероприятий госпрограмм по обеспечению доступным и комфортным жильем граждан Российской Федерации, направленных на повышение устойчивости жилых домов нетипового массового строительства и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах, не позволяют решать задачу обеспечения сейсмической безопасности страны в целом, так как:

- мероприятия реализуются на федеральном уровне без учета комплексного подхода к обеспечению сейсмической безопасности и управлению сейсмическими рисками;
- мероприятия по сейсмоусилению объектов осуществляются в различных госпрограммах при отсутствии координации федеральных и региональных органов власти по сейсмоусилению объектов;
- отсутствует единая информационная система с актуализируемыми данными мониторинга сейсмической устойчивости объектов, что не позволяет обеспечить информационное взаимодействие федеральных и региональных органов власти.

Для решения поставленных вопросов необходимо выполнить следующие работы:

- разработку критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе жилых зданий нетипового массового строительства;
- проведение апробации критериев и методики оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства по результатам экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий в пилотных сейсмоопасных регионах Российской Федерации;
- проведение экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий нетипового массового строительства в сейсмоопасных регионах Российской Федерации.

Таким образом, разработка методологических основ и выполнение экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилой застройки на основе зданий нетипового (индивидуального) массового строительства, а также оценка возможного потенциального ущерба при гипотетических сценариях сейсмических событий для различных сейсмоопасных регионов Российской Федерации, является актуальной задачей.

Целью выполнения научно-исследовательской работы является разработка критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства и проведение экспресс-мониторинга комплексного дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации» на основе механизма оценки дефицита сейсмостойкости жилой застройки и оценки возможного потенциального ущерба при вероятностных сценариях сейсмических событий для сейсмоопасных регионов Российской Федерации.

В рамках работы предложены критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства, позволяющие выполнить экспресс-мониторинг дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах



Российской Федерации на основе имеющихся сведений государственных реестров и фондов, а также оценен возможный потенциальный ущерб при вероятностных сценариях сейсмических событий для сейсмоопасных регионов Российской Федерации.

Полученные результаты работы позволили:

- предложить нормативный подход к оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства для выполнения экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости застройки (разработаны проекты документов «Порядок оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений», «Определение основных параметров сейсмического риска», предложены формы паспортов зданий) (см. раздел 3 4);
- получить оценку дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства по отдельным сейсмоопасным регионам и в целом по Российской Федерации на основе результатов экспресс-мониторинга с учетом имеющихся сведений государственных реестров (представляют собой электронные базы данных, приводятся на электронных носителях) (см. раздел 5 и 6);
- получить оценку максимального, среднего, удельного потенциального ущерба от вероятных и наиболее опасных сценариев сейсмических событий для пилотных сейсмоопасных регионов Российской Федерации (Иркутская область, Краснодарский край, Чеченская Республика, Камчатка) (см. раздел 5);
- установить категории жилых зданий нетипового массового строительства, наиболее подверженных сейсмическому воздействию, провести их сопоставительный анализ в целях прогноза риска возможных последствий, установить параметры их уязвимостей, соотносимые с рекомендуемыми мероприятиями по снижению дефицита сейсмостойкости (ремонт, реконструкция, замещение) (см. раздел 5);

- разработать рекомендации для различных регионов, направленные на повышение сейсмической безопасности жилой застройки на основе зданий нетипового массового строительства, в т.ч. установить объем необходимого финансирования для повышения сейсмостойкости зданий существующей застройки регионов Российской Федерации и наиболее эффективного использования финансирования с позиций снижения уязвимости застройки и риска гибели людей (см. раздел 6);
- подготовить перечень первоочередных регионов для проведения паспортизации застройки с наиболее высоким уровнем дефицита сейсмостойкости (см. раздел 6);
- наметить основные пути повышения сейсмобезопасности жилой застройки Российской Федерации с учетом региональных особенностей (см. раздел 7).

## **1 Краткое содержание работы**

Дефицит сейсмостойкости, определяемый в баллах сейсмической интенсивности, это неспособность зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, сохранять в течение установленного проектом срока службы эксплуатационные качества и технические характеристики в пределах заданных допусков с условием обеспечения надежности и безопасности для жизни людей и сохранности ценного оборудования.

Для определения искомой величины дефицита сейсмостойкости здания или сооружения необходимо иметь следующие данные:

- информацию о соответствии технических решений действующим регламентам и нормам;
- параметры, определяющие уязвимость ОКС;
- информацию о техническом состоянии ОКС.

Критерии дефицита сейсмостойкости устанавливаются через ущерб жилому фонду, определяемый на основании функции уязвимости, имея в качестве исходных данных информацию о потенциальном сейсмическом событии и фактическую сейсмостойкость ОКС.

В разделе 2 настоящего НИР выполнен обзор и анализ отечественных и зарубежных исследований и нормативных технических документов, затрагивающих сравнительный анализ и систематизацию существующих методов оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства и существующих методов оценки экономического ущерба от воздействия чрезвычайных ситуаций, вызванных землетрясениями, на объекты существующей застройки.

Анализ обобщает современные отечественные достижения науки и техники, технологии и передовой опыт стран СНГ, мировой опыт исследований, посвященный методам оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства и методам оценки экономического ущерба от воздействия чрезвычайных ситуаций, вызванных землетрясениями.

В разделе 3 авторами разработаны критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового (индивидуального) массового строительства для проведения экспресс-мониторинга комплексного дефицита сейсмостойкости жилых зданий, расположенных в сейсмоопасных регионах Российской Федерации .

В разделе 3 авторами разработана многофакторная методика оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства, которая применяется для регионов в порядке приоритета, установленного по результатам экспресс мониторинга дефицита сейсмостойкости жилого фонда РФ, расположенного в сейсмоопасных районах. Данная методика позволяет произвести уточненную оценку экономического ущерба от потенциального землетрясения в приоритетных регионах, а также выявить объем необходимых инвестиций и затрат на замещение, реконструкцию и ремонт жилья.

В разделе 5 приведены результаты апробации предложенных критериев и методики оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе жилых зданий нетипового (индивидуального) массового строительства на примере экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий на 4-х пилотных регионах Российской Федерации (Краснодарский край, Чеченская Республика, Камчатский край и Иркутская область).

Раздел 6 настоящей работы содержит данные по проведению экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий нетипового массового строительства в сейсмоопасных регионах Российской Федерации.

Предложения по использованию результатов настоящей работы при разработке нормативных документов, приведены в разделе 8. Результаты настоящей работы предполагается использовать при формировании новых и внесении изменений в существующие госпрограммы по обеспечению доступным и комфортным жильем граждан Российской Федерации, направленные на повышение устойчивости жилых зданий нетипового

массового строительства и систем жизнеобеспечения в сейсмических регионах Российской Федерации.

Научно-исследовательская работа по теме «Разработка критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства и проведение мониторинга комплексного дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации» осуществлялась с учетом следующих действующих нормативных технических документов:

- ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»;
- ГОСТ Р 57546–2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности»;
- ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»;
- ГОСТ 30630.5.4–2013 «Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Землетрясения»;
- СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах»;
- СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия».

## **2 Обзор и анализ нормативных технических документов, затрагивающих сравнительный анализ и систематизацию существующих методов оценки дефицита сейсмостойкости зданий**

### **2.1 Обзор и анализ методов оценки дефицита сейсмостойкости зданий отечественной литературы, норм и правил**

#### **2.1.1 Анализ отечественной литературы, норм и правил**

Наиболее популярными в России, методиками оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений является методика Я.М. Айзенберга и методика М.А. Клячко [1], заключающимися в степени детализации учитываемых факторов и применении формальных процедур.

Обе методики основаны на сравнении фактических параметров объектов с требованиями норм, прошли апробацию и применяются при паспортизации объектов в Камчатской области, Бурятии и других районах.

Авторы работ исходят из предположения, что уязвимость сооружений при сейсмическом воздействии может определяться соотношением между фактической сейсмостойкостью существующего сооружения и интенсивностью расчетного землетрясения, выраженных в одних и тех же единицах (например, в баллах сейсмической шкалы).

В работах Я.М. Айзенберга и др. [2] представлен набор критериев для оценки фактической сейсмостойкости сооружений, которые определяются на основе результатов обследования, требований норм и анализа последствий сильных землетрясений.

При оценке стойкости сооружений к сейсмическим воздействиям все здания и сооружения разделены на 15 категорий. При этом наивысшим значениям сейсмостойкости соответствуют здания из современных материалов, низшим – здания, возводимые по несейсмостойким технологиям.

По методике М. А. Клячко [3] оценка и паспортизация проводится в два этапа: оценка уязвимости (безопасности) сооружения с прогнозом возможных потерь и выявление объектов, нуждающихся в усилении. При

этом оценка сейсмостойкости производится на основании 10 факторов (вопросов), по каждому из которых дается отрицательный либо положительный ответ.

Каждый из факторов относится к оценке фактического состояния конструкций в сравнении с требованиями норм и применяется отдельно для каменных, блочных, панельных, каркасно-каменных, каркасных, деревянных и, отдельно, для одноэтажных промышленных зданий.

Аналогичные исходные предпосылки использованы в разработках МЧС РФ, которым для ведомств и организаций, отвечающих за безопасность населения в случаях возможных катастрофических разрушений, разрабатывается Методика сертификации безопасности зданий и сооружений.

Также коллективом ВНИИ ГОЧС разработан проект документа и представлен на рассмотрение в Межведомственный координационный научный совет по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций [4].

Важным методическим инструментом при проведении оценки дефицита сейсмостойкости и паспортизации является классификация зданий по уровню их сейсмостойкости. Согласно сейсмической шкале MSK-64 здания подразделяются на три типа: А, Б и В. Причем рассматриваются здания без антисейсмических мероприятий. Это противоречит сложившейся структуре городской застройки в регионах, в которых доля сейсмостойких зданий составляет более половины. Шкала MMSK-92, сохраняя типы зданий MSK-64 (А, Б и В), вводит в классификацию сейсмостойкие здания типов С7, С8 и С9. Региональная шкала сейсмической интенсивности РШСИ включает 5 классов зданий по уровню их сейсмостойкости в порядке примерно линейного их убывания С9, С8, С7, С6 и С5, причем, три последние класса соответствуют типам В, Б и А шкалы MSK-64. Таким образом, в шкале РШСИ исключено деление зданий на две категории: здания без антисейсмических мероприятий и сейсмостойкие здания.

В рамках работ [5, 6], предлагалось усовершенствование региональной шкалы РШСИ и распространения ее на регионы с высоким уровнем сейсмичности. Для этого были использованы результаты проведенных вибрационных и сейсмозрывных испытаний 12 опытных объектов в Иркутской области с 1980 по 2004 годы ИЗК СО РАН при участии наших специалистов и ряда научно-исследовательских организаций – ЦНИИСК, ЦНИИЭП жилища, КазНИИССА, ДальНИИС. В их числе жилые дома и общественные здания из железобетона или их полномасштабные фрагменты высотой от 2 до 10 этажей, с массой от 400 до 11000 тонн и расчетной сейсмичностью 7–9 баллов.

В 2019 г вступил в силу СП «Здания и сооружения. Оценка класса сейсмостойкости» [7]. Свод правил [7] устанавливает требования к оценке класса сейсмостойкости зданий и сооружений, расположенных в районах сейсмичностью 7, 8, 9 и 10 баллов, включая зоны населенных пунктов сейсмичностью 6 баллов с категориями грунтов по сейсмическим свойствам III и IV в соответствии с [8], а также требования к назначению и контролю изменения класса сейсмостойкости на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства. В этом документе есть 6 классов оценки сейсмостойкости, которые устанавливаются с учетом [9] и [10].

В предварительно проведенном анализе выявлено, что в реальной практике имеется некоторое количество неопределенностей, которые приводят к тому, что верхние и нижние оценки уязвимости и потерь отличаются. Эти неопределенности относятся также к прогнозу параметров сейсмических движений и поведения зданий при землетрясениях данной интенсивности. Как следствие, результаты оценки уязвимости, как и прогнозы потерь могут быть существенно неточны. При этом совершенно очевидно, что используемые методики дают ориентацию о необходимых превентивных мерах по смягчению последствий землетрясений и практически полезны с точки зрения возможности принятия политико-социальных решений.



### **2.1.2 Анализ зарубежных исследований**

Из большого числа зарубежных работ по оценке дефицита сейсмостойкости уязвимости и возможного ущерба наиболее разработанными следует признать следующие:

Методика и программа ИРАС, разработанные в Стэнфордском университете (США, Калифорния) под руководством профессора Х. Шаха [13] [14].

В этих работах [13] [14] уязвимость и прогноз потерь исследуются со стороны страхования рисков. Авторами разработана компьютерная программа, позволяющая получать количественные оценки вероятности ущерба, включая экономические потери и вероятность гибели людей в зависимости от типа сооружения, уровня его сейсмостойкости, от взаимного расположения объектов и очагов землетрясения, включая вероятностные оценки повторения сейсмических воздействий с различными магнитудами.

Программа ИРАС позволяет проводить поэтапные экспертные оценки по следующим направлениям:

- оценка риска сейсмической опасности для конкретной площадки;
- приближенная оценка уязвимости (безопасности) группы или класса сооружений разного типа на данной площадке, которая позволяет быстро выявить объекты с особенно высоким сейсмическим риском;
- детальный анализ уязвимости и риска разрушений для конкретного объекта.

При этом критерии сейсмостойкости (уязвимости) объекта принимаются на основании требований действующих норм, с которыми сравниваются фактические параметры сооружений.

Исследования Е. Фурнье, Д.Альба (Франция) по подходам к проблеме, формулировании методологии оценки и определении функций уязвимости в целом сходны с ранее описанными [15].

Методика прогноза и оценки потерь при землетрясениях для Югославии (автор профессор Я. Петровски) разработана на основе обзора и систематизации существующих работ других авторов.

Специфичным для работы [16] является то, что определение функций уязвимости и потерь осуществляется на основании статистического обобщения эмпирических данных, полученных для определенного региона – территории, подвергшейся землетрясению в Монтенегро 15 апреля 1979г.

Необходимо сделать предостережение о том, что выводы, основанные на данных, наблюдаемых при единичном событии, могут оказаться ненадежными и даже ошибочными. Это понимает и автор, предлагая осуществить дальнейшие исследования, посвященные, в частности, развитию аналитических и экспертных методов оценки уязвимости и потерь.

В 1991 г. учеными Китая завершена значительная по объему работа, посвященная оценке ущербов от возможных землетрясений на будущие 50 лет [17]. Исследования были проведены по направлениям:

- проведен обзор исторической сейсмичности и сильных землетрясений в Китае;
- представлены результаты анализа сейсмической опасности для Китая в перспективе на ближайшие 50 лет, включая вероятностные оценки наступления землетрясений разной интенсивности;
- выполнен детальный анализ существующих методов оценки ущербов (потерь) при землетрясениях;
- рассмотрены задачи обеспечения безопасности и оценки уязвимости объектов жизнедеятельности населения и возможных потерь (ущербов) для экономики государства;
- разработаны соответствующие Карты сейсмической опасности и расположения населенных пунктов;
- на основе предыдущих этапов – даны оценки возможных потерь от возможных землетрясений в Китае на ближайшие 50 лет.

Работа, несомненно, полезна с практической точки зрения в сфере принятия политико-социальных решений.

Исследования А. Розена (Израиль) [18] проведены применительно к небольшому городу Зефат с населением 15000 человек, расположенного в горной местности в 15 километрах от системы активных разломов Иорданской рифтовой зоны. Данный регион сильно пострадал во время разрушительного землетрясения в 1837 году.

В процессе поэтапных исследований, проведенных с учетом имеющихся данных Института Нефти и Геофизики Израиля, других стран для аналогичных условий, на основании теоретического анализа и экспертных оценок были получены следующие результаты:

- на первом этапе определялись сейсмогеологические характеристики территории;
- на втором этапе, проведенном с использованием известных корреляций между величинами магнитуд, ускорений и баллами осуществлялась оценка интенсивности землетрясения в данной местности;
- третий этап состоял в оценке безопасности зданий и прогнозе возможного ущерба.

В разработанных сценариях рассматривался диапазон магнитуд от 5,5 до 7,0, а также учтены времена года и суток.

В результате проведенных работ была выявлена серьезная роль грунтовых условий, а также выделены районы высокого и низкого риска.

Полученные данные об общем ожидаемом числе жертв были переданы в органы гражданской обороны и медицинские учреждения, которые разработали соответствующий план мероприятий по подготовке к землетрясениям.

Оценка уязвимости железобетонных сооружений в Японии [19] производится в соответствии с действующим стандартом. Следует отметить, что методика проведения анализа и критерии сейсмостойкости (уязвимости)

мало отличаются от вышеперечисленных.

## **2.2 Обзор и анализ методов определения параметров сейсмической опасности**

При расчете дефицита сеймостойкости неотъемлемой частью комплекса работ является оценка сейсмической опасности площадки строительства. В отечественных нормативных документах сейсмическая опасность, как правило, складывается из оценки исходной сейсмичности на некоторых средних грунтах и поправки на реальные грунтовые условия площадки (сейсмическое микрорайонирование – СМР). При этом оценки исходной сейсмичности либо принимаются по картам общего сейсмического районирования (ОСР), либо уточняются по результатам детального сейсмического районирования (ДСР).

Состав исследований ДСР может существенно зависеть от типа и уровня ответственности проектируемого сооружения. Например, для гидротехнических сооружений и объектов атомной отрасли приняты ведомственные нормативные документы, регламентирующие перечень требований, мероприятий и методик, обязательных при выполнении ДСР. Однако, общее для всех то, что характеристики сейсмических воздействий, получаемые в результате работ ДСР, должны иметь обеспеченность, соответствующую уточняемой карте ОСР.

Как и в большинстве стран мира, в Российской Федерации принят вероятностный подход к оценке сейсмической опасности, хотя, в отдельных ведомственных документах дополнительно рекомендуется применять и более консервативный, детерминистский подход.

Нормативный комплект карт ОСР состоит из трех карт А, В и С, отражающих интенсивность сотрясений, которая не будет превышена в течение 50 лет с вероятностью 90%, 95%, 99% соответственно. Выбор карты А, В или С, по сути, это выбор приемлемого риска (10%, 5% или 1 %)

превышения сейсмического воздействия на которое проектируется сооружение.

### **2.2.1 Сложившиеся подходы к оценке сейсмической опасности**

■ Детерминистский подход при анализе сейсмической опасности

Детерминистский анализ сейсмической опасности (ДАСО, по-английски DSHA – deterministic seismic hazard analysis) – это наиболее очевидный и исторически сложившийся подход. Значение интересующего параметра опасности оценивается для максимально возможной магнитуды землетрясения в каждой зоне возникновения очагов землетрясения (ВОЗ) по кратчайшему расстоянию до гипоцентра [20]. Детерминистский подход не учитывает случайную природу, присущую таким параметрам землетрясения, как магнитуда, время повторяемости, положение гипоцентра [21]. Для расчета используется один сценарий, описывающий вариант максимально-возможного землетрясения.

Существует несколько процедур выбора максимально возможной магнитуды землетрясения. Первая основана на записях о крупнейших исторических землетрясениях и палеосейсмических данных. Этот подход особенно применим в районах с низкой сейсмичностью, где крупные события имеют долгий период повторяемости [21]. При отсутствии каких-либо тектоно-геологических данных предполагается, что максимально возможная магнитуда равна либо максимально наблюдаемой в заданном районе, либо к ней прибавляется некоторое приращение. Обычно это приращение варьируется от 0,25 до 1 единицы магнитуды [20].

Другая часто используемая детерминистическая процедура для оценки максимальной магнитуды, особенно для площадных сейсмических источников, основана на экстраполяции магнитудно-частотной зависимости Гутенберга-Рихтера. Примером таких процедур экстраполяции являются процедура, изложенная Frohlich (1998) и процедура, применяемая Nuttli (1981) [20]. Также существуют методы, где значение максимальной

магнитуды оценивают по скорости накопления напряжения или градиенту скорости долговременной тектонической деформации. Однако в большинстве случаев, неопределенности по максимальной магнитуде достигают 1 единицы [20].

Таким образом, ДАСО позволяет определить сейсмическую опасность исходя из наиболее негативного сценария – максимально-возможного землетрясения, без учета надежности определения максимальных магнитуд, без учета неоднозначности модели затухания и т.д.

■ Классический подход для вероятностного анализа сейсмической опасности

Поскольку одиночный сценарий землетрясения не в состоянии обеспечить высокий уровень надежности полученных результатов, альтернативным подходом для оценки сейсмичности исследуемых площадок является вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО, по-английски PSHA – probabilistic seismic hazard analysis).

ВАСО – это методология, используемая для оценки того, как часто может быть достигнуто или превышено сейсмическое воздействие на исследуемой площадке. Она синтезирует знания о том, где происходят землетрясения, как часто они происходят, какова их магнитуда, какие сейсмические воздействия могут быть ими вызваны и как они могут измениться с магнитудой, расстоянием и, возможно, азимутом, и неопределенности, которые связаны как непосредственно с моделями сейсмогенеза и с эффектами возбуждения-распространения воздействий (эпистемическая неопределенность), так и с внутренней неопределенностью того, какое именно землетрясение происходит, и какие именно воздействия оно вызывает (алеаторная неопределенность) [22].

Сейсмическая опасность по ВАСО тесно связана с понятием сейсмической сотрясаемости, введенной Ю.В. Ризниченко в 1965 году.

Как вычислительная процедура, подход ВАСО впервые был представлен Cornell (1968) для пикового ускорения грунта [23]. Чтобы учесть случайную природу возникновения землетрясений он использовал магнитудно-частотную зависимость Гутенберга–Рихтера (Gutenberg and Richter, 1944). Повторяемость землетрясений по времени, Cornell рассматривал как Пуассоновский процесс [24], который соответственно следует пуассоновскому распределению. Эпицентры возможных землетрясений равномерно распределялись вдоль линейного разлома или по площади вокруг исследуемой точки наблюдения, а также рассматривались как точечные источники [23].

Вероятностный подход, который предложил Cornell для оценки сейсмической опасности, в современной литературе трактуется как классический ВАСО. Согласно данному подходу, чтобы вычислить вероятность превышения заданной амплитуды движения грунта на исследуемой площадке, вклады опасности интегрируются по всем магнитудам и расстояниям, для всех зон ВОЗ, согласно теореме полной вероятности [21]. Таким образом, средняя вероятность превышения определенного уровня сотрясения  $y^*$  на площадке равна:

$$P(Y > y^*) = \sum_i^N \alpha_i \int_{M_{MIN}}^{M_{MAX}} \int_{R_0}^{R_{MAX}} f_i(M) f_i(R) P(Y > y^* | M, R) dM dR \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – средняя годовая повторяемость землетрясения в  $i$ -том источнике,  $f_i(M)$  – распределение плотности вероятности магнитуды в  $i$ -том источнике,  $f_i(R)$  – распределение плотности вероятности эпицентрального расстояния между различными положениями эпицентров в  $i$ -том источнике и площадкой,  $P(Y > y^* | M, R)$  – вероятность того, что данное землетрясение магнитуды  $M$  и расстояния  $R$  будет превышать уровень движения грунта  $y^*$  [21].

Оригинальный метод не учитывал вероятностный разброс амплитуд движения грунта вокруг среднего значения в моделях затухания, как и многие более поздние исследования (например, Milne and Davenport 1969 [23]; Douglas and Ryall 1975 [25]) также не учитывали случайный разброс в параметрах опасности при проведении ВАСО [23]. Стоит отметить, что Cornell в своей работе 1968 использовал неограниченную по магнитуде зависимость Гутенберга–Рихтера (где отсутствует верхняя граница возможной магнитуды), что приводило к линейной зависимости в логарифмическом масштабе кривой вероятности превышения амплитуды колебания грунта [26]. Но в дальнейшем, уже в работе 1969 года Cornell признавал, что магнитудно-частотная зависимость должна быть ограниченной [27].

Классический подход для ВАСО, известный как подход Cornell–McGuire включает четыре шага:

1) Идентификация и параметризация сейсмических источников, которые оказывают влияние на исследуемую площадку. Источники могут быть представлены как площади, разломы, точки и др. Площадной источник часто используется, когда мы не можем идентифицировать определенный разлом. Каждому источнику землетрясений присваивается равномерное распределение сейсмичности, допуская, что очаги землетрясений равновероятно будут происходить в любой точке в зоне источника [20];

2) Характеристика временного и магнитудного распределения сейсмичности для источника. Классический подход, предполагает, что повторяемость землетрясений во времени статистически независима, что землетрясения происходят с постоянной частотой, а повторяемость будущих событий не зависит от последнего произошедшего землетрясения [20]. Наиболее часто используемая модель повторяемости магнитуд – это магнитудно-частотная зависимость Гутенберга–Рихтера и зависимость характеристических землетрясений (обе используются в различных модификациях);



3) Вычисление УПДГ и их неопределенностей. УПДГ используется, чтобы прогнозировать движение грунта в точках наблюдения. Вычисляемые параметры в УПДГ включают в себя пиковое ускорение грунта, пиковые скорости грунта, пиковые смещения грунта, спектральные ускорения, интенсивность, продолжительность сильного движения грунта и др. Большинство УПДГ, доступные сегодня – эмпирические, и зависят от магнитуды, расстояния источник–площадка, типа разлома и локальных условий площадки [20]. Выбор УПДГ является важным моментом, поскольку часто УПДГ – это основной фактор вклада неопределенностей при выполнении ВАСО;

4) Реализация и учет различных видов неопределенностей. Например, в положении землетрясения в зоне ВОЗ, в магнитудах, в графиках повторяемости. Конечным результатом ВАСО являются вероятности превышения заданного параметра движения грунта хотя бы от одного события и спектры реакции грунта на определенном пункте наблюдения [20].

Вероятностный анализ сейсмической опасности на основе метода Монте-Карло.

В последнее время наблюдается тенденция к решению проблемы ВАСО с помощью моделирования методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло также известен как стохастический метод, ранее использовался для численной оценки сейсмической опасности в восьмидесятых годах. Его использовали Rosenhauer (1983), Shapira (1983), Jonson и Koyanagi (1988) [28]. Однако широкое распространение получил после работ Rodger Musson.

Также как и в классическом подходе, в основе расчета лежат две взаимно увязанные модель зон ВОЗ и УПДГ. То есть первые этапы реализации ВАСО на основе метода Монте-Карло совпадают с классическим подходом. По сути, основные параметры моделей зон ВОЗ (геометрия, повторяемость землетрясений и т.д.) при обоих подходах одинаковы. Дополнительная параметризация зависит непосредственно от возможностей последующей вычислительной процедуры ВАСО.

Вычисление УПДГ и их неопределенностей фактически не зависит от применяемого далее подхода ВАСО. Обычно наоборот, вычислительные процедуры подстраиваются под характеристики (типы расстояний, магнитуд, грунтовые условия и т.д.) УПДГ.

Вычислительную процедуру ВАСО на основе метода Монте-Карло можно условно разделить на два этапа:

1) На основе модели зон ВОЗ генерируется каталог землетрясений для заданного периода времени  $T$  (лет). Каждое землетрясение характеризуется набором параметров: магнитудой; длиной и шириной площадки очага; азимутом ее верхней кромки, задающим направление простирания очага; углом ее падения (углом между горизонтальной плоскостью и площадкой очага); географическими координатами и глубиной гипоцентра либо вершин площадки очага.

2) С учетом алеаторных неопределенностей, вычисляется сейсмический эффект от каждого землетрясения в расчетной точке на основе принятой модели затухания, и набирается статистика по количеству сотрясений разной интенсивности. Полученная статистика переводится в кумулятивный вид, из которого уже рассчитываются кривые опасности.

Использование метода Монте-Карло позволяет получить прозрачную схему расчета на каждом шаге вычислений и возможность более тонкой настройки моделей зон ВОЗ.

Использование весьма длительного синтетического каталога землетрясений позволяет учесть неопределенности в случайном характере параметров возможных землетрясений, что позволяет существенно упростить логическое дерево в части учета неопределенностей параметров зон ВОЗ.

### **2.2.2 История развития программных средств на основе классического подхода ВАСО**

В 1976 году McGuire реализовал алгоритм вычисления ВАСО, на основе метода Cornell, в программе EQRISK, которая была написана на языке

программирования Fortran [29]. Программа EQRISK выполняла ВАСО, используя только площадные источники землетрясений и уже ограниченное магнитудно-частотное распределение Гутерберга–Рихтера 1958 года [30]. В заложенном алгоритме площадной источник землетрясений делится на субисточники окружностями, центр которых находится в точке исследования с заданным шагом по радиусу. Так как повторяемость равномерно распределена по всей площади исходной зоны ВОЗ, повторяемость каждого субисточника соотносится с повторяемостью исходного так же как соотносятся их площади. Далее по методу Cornell производится расчет сейсмической опасности от каждого субисточника. Однако вычисления ВАСО выполнялись только для средних значений движения грунта, без учета неопределенностей [30].

В 1978 году McGuire реализовал метод Cornell в алгоритме программы FRISK, написанной также на языке программирования Fortran [31]. Программа FRISK выполняла ВАСО для прямолинейных разломов, или разломов состоящих из нескольких прямолинейных сегментов. В FRISK использовались ограниченное кусочно-экспоненциальное магнитудно-частотное распределение, логнормальное распределение для длины разрыва и равномерное распределение положения разрыва на разломе [31]. Если разлом (или линиямент) – это линия вдоль которой равномерно распределены эпицентры землетрясений, то разрыв – это только та область разлома, на которой происходит процесс смещения грунтов при землетрясении (в данном случае разрывы представлены двухмерными линиями).

Для вычисления использовались ближайшие расстояния от разрыва на разломе до точки наблюдения. В программе учитывались неопределенности для следующих параметров [31]:

- магнитуды будущих землетрясений;
- длины разрыва (которая является функцией от магнитуды);

- положения разрыва на разломе;
- значений движения грунта.

Кроме введения неопределенностей и типа рассматриваемых источников FRISK отличался от EQRISK тем, что рассчитываемое значение движения грунта зависело и от длины разрыва на разломе. Также имелась возможность задания сетки точек наблюдения на исследуемой площадке. Впоследствии FRISK и EQRISK были взяты за основу, для разработки программы FRISK88M, с более расширенными возможностями для расчета WACO [32]. FRISK88M активно использовался в прошлом, например для построения вероятностных карт сейсмической опасности Южно-Американской от субдукционной зоны [33].

Anderson and Trifunac в 1977 в своей работе по вычислению Фурье спектра амплитуд ускорений провели WACO моделированием сейсмичности с более реалистичным подходом. Они использовали пять различных видов источника: точечный; линейный; площадной с произвольной границей, произвольно падающую плоскость разлома и объемный источник произвольной формы [34]. В разработанном алгоритме расчета сейсмической опасности использовались два метода. В первом методе модель затухания зависела от эпицентрального расстояния до источника землетрясения (как в работах McGuire и Cornell), а во втором зависела от расстояния до ближайшей точки разрыва, происходящего в зонах ВОЗ, с учетом длины и направления разрывов [34]. Сами разрывы были представлены кругами заданного радиуса.

Одним из наиболее распространенных инструментов вычисления сейсмической опасности являлась программа SEISRISK III – последняя версия семейства программ SEISRISK, разработанная Bernice Bender и David M. Perkins. Данная программа и ее предыдущие версии использовали классический подход WACO, и весьма схожий алгоритм расчета, который использовали Cornell и McGuire.

Таким образом, можно отметить, что метод, который разработал Cornell, претерпевал изменения, реализовывался и развивался в различных программах для решения задачи оценки сейсмической опасности. Модели зон ВОЗ становились все более физическими, а расчеты сейсмической опасности выполнялись на ЭВМ.

### **2.2.3 Обзор современных программных средств ВАСО на основе классического подхода**

В настоящее время в мире активно разрабатываются и широко используются компьютерные программы для проведения ВАСО на основе классического подхода: комплексы программных модулей OpenSHA [35] и R-CRISIS [20], расчетный модуль OpenQuake Engine [36]. Далее дадим краткую характеристику перечисленному программному обеспечению.

#### **Комплекс программных модулей OpenSHA**

Комплекс программ для оценки сейсмической опасности OpenSHA разрабатывается и выпускается с двухтысячных годов университетом Южной Калифорнии (USC) [37]. Базовая структура OpenSHA реализована на языке программирования Java. Исходные коды и их последующие версии рабочих модулей находятся в открытом доступе, благодаря чему разработчики имеют обратную связь с пользователями. В состав комплекса OpenSHA входят следующие модули [35]:

Модуль построения моделей затухания;

Модуль расчета и построения кривых опасности;

Модуль расчета и построения спектров реакции;

Модуль расчета среднего значения опасности и его стандартного отклонения в различных точках наблюдения;

Модуль для расчета и построения магнитудно-частотной зависимости землетрясений;

Модуль для расчета и построения карты уровней опасности от сценарных землетрясений;

Модуль для загрузки данных, связанных с местом наблюдения, таких как средневзвешенная скорость поперечных волн грунта на глубину до тридцати метров и др.

Все модули имеют свой рабочий интерфейс, но не собраны в единую систему (Рисунок 1). Поэтому пользователям необходимо самостоятельно «построить» свой расчетный комплекс для вычисления и отображения полученных значений. Данный факт можно отнести к недостаткам данного инструмента VASO, поскольку не каждый потенциальный пользователь имеет навыки программирования, чтобы получить желаемые результаты.

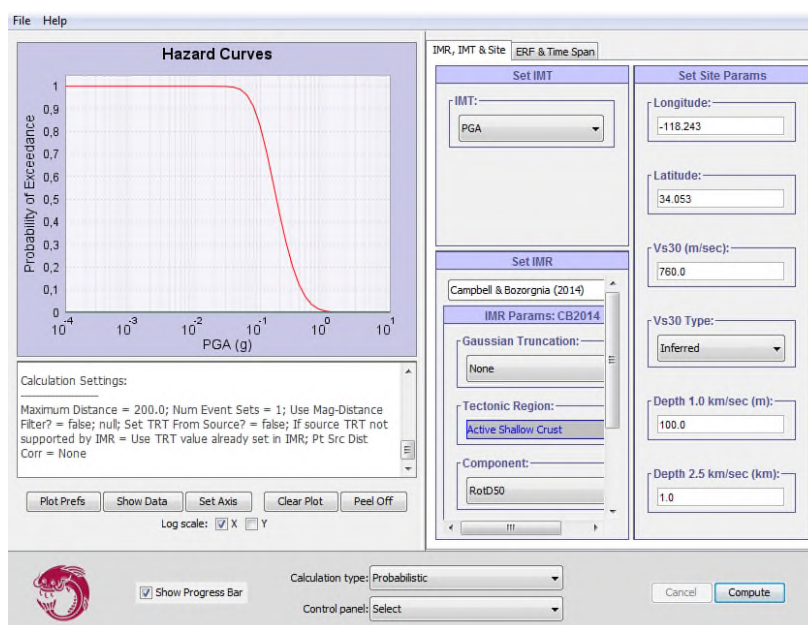


Рисунок 1 – Рабочий интерфейс модуля расчета и построения кривых опасности OpenSHA

Вся необходимая информация для работы с модулями, исходные коды модулей и опубликованные работы, связанные с комплексом OpenSHA, содержатся на электронном сайте <http://www.opensha.org/>.

## Расчетный модуль OpenQuake Engine

Расчетный модуль OpenQuake Engine разрабатывался на основе алгоритмов OpenSHA, но реализован на языке программирования Python [32]. Поводом к разработке послужила реализация европейской научной программы <http://www.share-eu.org/node/6.html> Seismic Hazard Harmonization

in Europe (SHARE). Основная цель SHARE заключалась в предоставлении модели сейсмической опасности для европейско-средиземноморского региона. Проект был направлен на установление новых стандартов в практике вероятностной оценки сейсмической опасности путем тесного сотрудничества ведущих европейских геологов, сейсмологов и инженеров [38].

Расчетный модуль OpenQuake Engine представляет из себя целостный алгоритм, который использует набор входных файлов, где содержится вся необходимая информация для выполнения ВАСО [32]. В их число входят:

- 1) Файл или несколько файлов моделей зон ВОЗ;
- 2) Файл логического дерева для моделей зон ВОЗ;
- 3) Файл логического дерева для используемых УПДГ;
- 4) Файл с координатами точек наблюдения;
- 5) Файл с основными параметрами расчета ВАСО.

Вэб-интерфейс OpenQuake Engine представляет минимально необходимый набор функций по загрузке входных данных, отображению процесса и выгрузке результатов расчетов (Рисунок 2).

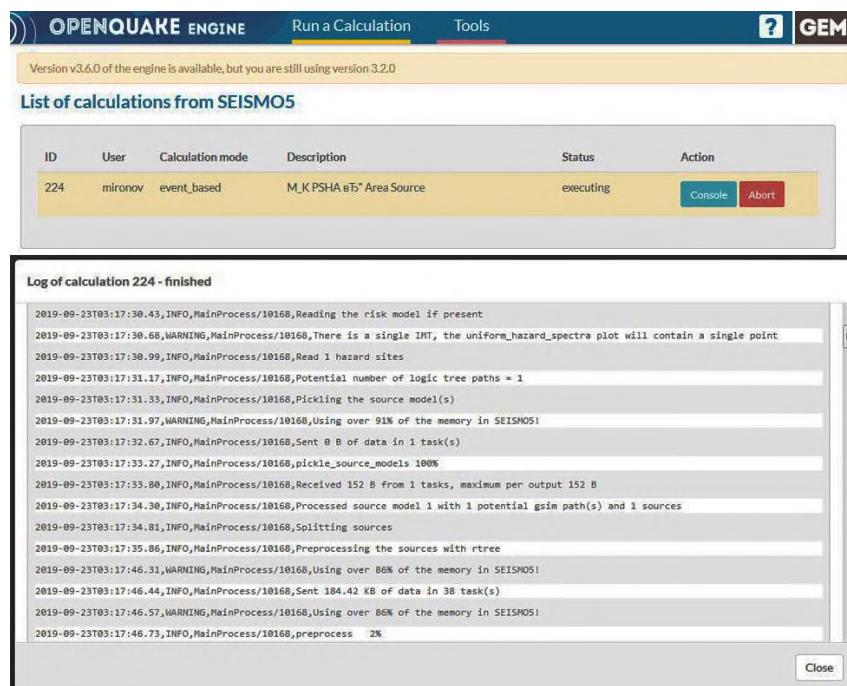


Рисунок 2 – Вэб-интерфейс OpenQuake Engine  
Модель зон ВОЗ

В файле моделей зон ВОЗ содержатся все необходимые параметры для каждой зоны: тип зоны ВОЗ, координаты, параметры повторяемости землетрясений, параметры очага, выбор зависимости размеров разрыва от магнитуды. В модуле предоставлен широкий выбор типов источников:

- 1) Точечный;
- 2) Площадной;
- 3) Простой 3D разлом;
- 4) Сложный 3D разлом (представляет из себя изогнутую поверхность);
- 5) Сетка точечных источников и др.

В OpenQuake Engine реализованы различные подходы к заданию повторяемости землетрясений отнесенных к зонам ВОЗ: ограниченная магнитудно-частотная модель Гутенберга–Рихтера, характеристическая модель землетрясений (Youngs and Coppersmith, 1985) и дискретная модель, где повторяемость задана для интервалов магнитуды с заданным шагом [36]. Параметры очага задаются тремя углами и характеризуют направление разрыва в пространстве.

Б) Дискретизация площадной зоны в сетку сеткой точечных зон ВОЗ.

Следует отметить особенность расчетной схемы модуля OpenQuake Engine. Независимо от того какие из перечисленных выше типов зон ВОЗ используются для построения модели сейсмичности, на первой стадии расчетов все типы автоматически преобразуются в наборы точечных зон ВОЗ, которые с заданным шагом квадратной сетки заполняют геометрию исходных зон ВОЗ (Рисунок 3). То есть «сложные» типы зон ВОЗ представляются через набор простых. Далее точечные зоны ВОЗ принимаются как гипоцентры ориентированных в пространстве площадных источников землетрясений (разрывов).



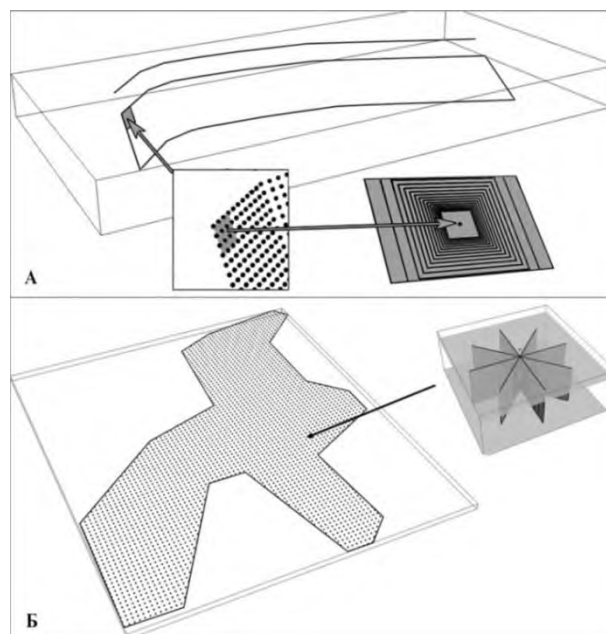


Рисунок 3 – Представление простого 3D разлома сеткой точечных зон ВОЗ

Сделано это, по словам разработчиков, для упрощения, ускорения и универсальности расчетной процедуры ВАСО.

Непосредственно текстовый формат задания параметров модели зон ВОЗ неудобен и громоздок, на стадии его формирования легко допустить ошибки. Для удобства пользователей разработчиками предложен скрипт, позволяющий конвертировать подготовленную в среде ГИС модель зон ВОЗ в формат входного файла и наоборот. Данный скрипт имеет ограничения по типам зон ВОЗ и по моделям повторяемости землетрясений.

#### Набор УПДГ

По умолчанию в составе программного комплекса OpenQuake Engine предлагаются более ста региональных и глобальных УПДГ, разработанных в период 1993–2019 гг. Кроме того, есть возможность добавлять собственные модели затухания в табличном виде.

Необходимо отметить, что в перечне УПДГ очень широко представлен набор моделей полученных в рамках этапа NGA-West2 проекта «Global Earthquake Model (GEM) Global GMPEs project».

## Учет неопределенностей

Основной метод для уменьшения эпистемической составляющей неопределенности при оценке сейсмической опасности на основе классического подхода ВАСО – это использование «логических деревьев» (Logic tree). Он позволяет с помощью просчетов по отдельным ветвям «дерева» с учетом экспертно задаваемых весов, уменьшить произвол выбора конкретных моделей зон ВОЗ и УПДГ. В OpenQuake Engine отдельно формируются логические деревья для моделей зон ВОЗ и набора УПДГ. Допускается формирование индивидуальных логических деревьев УПДГ для отдельных групп зон ВОЗ.

Алеаторная (случайная) неопределенность преимущественно учитывается в структуре УПДГ, и соответственно определяется качеством принятых для расчета моделей затухания.

## Достоинства

В целом программный продукт OpenQuake Engine можно считать одним из наиболее современных и удобных для профессионального использования инструментов ВАСО на основе классического подхода Cornell-McGuire. Разнообразие элементов модели зон ВОЗ, большой набор УПДГ, возможность формирования логических деревьев любой степени сложности – все это, безусловно, относится к достоинствам данного ПО.

Исходный код, расчетный модуль и вся необходимая информация для его использования находятся в открытом доступе на электронном сайте <https://storage.globalquakemodel.org/openquake>.

## Недостатки

Недостатком расчетного модуля для пользователя является невозможность контроля и проверки входной информации для источников землетрясения на каждом шаге ВАСО. Отсутствие полноценного графического интерфейса и задание всех параметров в виде текстовых файлов создает дополнительное неудобство, в том числе необходимость

использования дополнительных программ для визуализации результатов расчетов.

Представление «сложных» типов зон ВОЗ через набор простых в определенной мере загроубляет расчетную схему.

### ■ Программный комплекс R-CRISIS

Первая версия CRISIS была выпущена в 1986 году профессором Mario Ordaz (Мексика), который также является ведущим автором всех последующих версий. Первая версия была приложением командной строки, разработанным на языке программирования Fortran. Для запуска этой версии необходимо было предварительно сгенерировать файл входных данных с помощью текстового редактора [39]. Последующие версии были разработаны в Visual Basic и включали графический интерфейс. В 2017 году профессор Mario Ordaz решил продолжить разработку и поддержку комплекса CRISIS через компанию ERN (Evaluación de Riesgos Naturales), которая занимается оценкой природных рисков в Мексике [40], переименовав программу в R-CRISIS.

В настоящее время компьютерный программный комплекс R-CRISIS является мощным инструментом для оценки сейсмической опасности, включающий целостный и объединенный набор модулей, необходимых для работы с данными и их графическим отображением при выполнении ВАСО [41]. Ранние версии R-CRISIS использовались в качестве основного инструмента ВАСО в различных проектах по сейсмической опасности и сейсмическому риску по всему миру. Например, для построения и обновления официальных карт сейсмической опасности Колумбии и Испании в 2009 и 2012 году соответственно [42]. Вычислительный алгоритм R-CRISIS выполнен на основе *классического* подхода для выполнения ВАСО.

В отличие от описанных ранее программных средств, рабочая среда R-CRISIS представляет собой удобный интерфейс (Рисунок 4). Все рабочие модули программного комплекса связаны друг с другом и запускаются с

общей рабочей панели. Для каждого шага выполнения ВАСО есть свой отдельный модуль со своим интерфейсом и набором возможностей: для задания и отображения зон ВОЗ, для задания и отображения магнитудно-частотной характеристики, для выбора и отображения модели затухания, для задания входных параметров для расчета, для визуализации полученных результатов.

Полученные результаты расчетов можно экспортировать в форматы современных инструментов ГИС. Кроме этого, в R-CRISIS присутствуют модуль деагрегации вкладов в опасность от сейсмических источников, модуль задания высоты над уровнем моря для поверхности земли в рассматриваемой области.

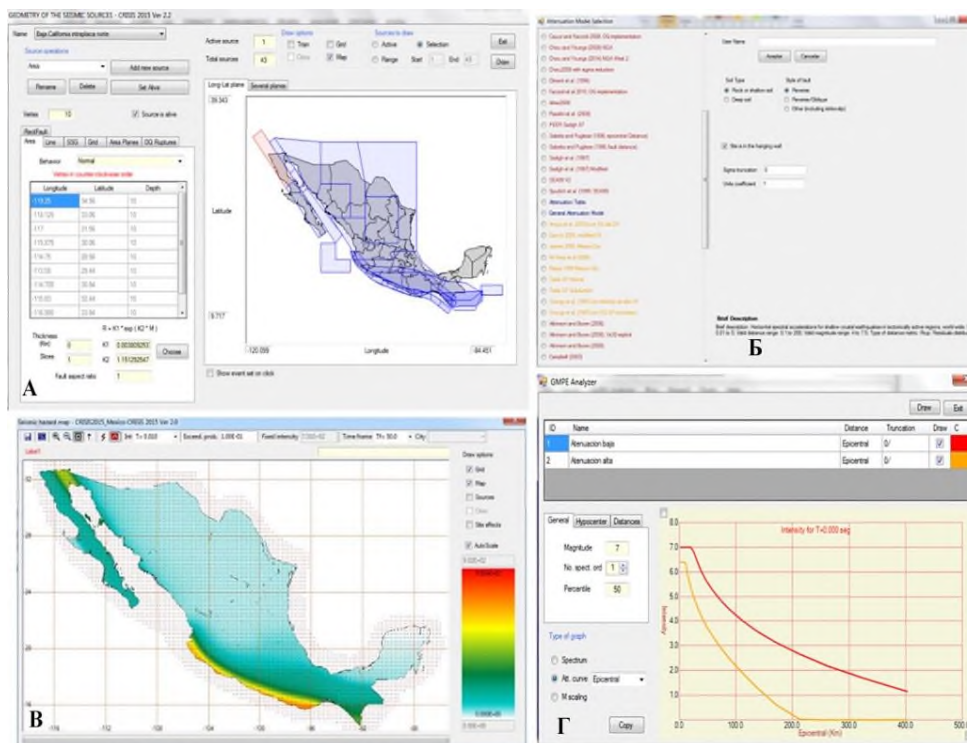


Рисунок 4 – Графический интерфейс R-CRISIS: А) Определение геометрии и типа сейсмического источника, Б) Окно выбора УПДГ, В) Визуализация расчетной карты сейсмической опасности, Г) Окно анализа УПДГ

### Модель зон ВОЗ

Для описания геометрии сейсмических источников доступны следующие типы зон ВОЗ:

- 1) Площадной источник, который может быть представлен как

произвольная замкнутая область.

2) Объемный источник землетрясений. Задается так же, как и площадной источник, но распространяется на указанную глубину вниз от каждой вершины замкнутой области.

3) 2D разлом. Прямая линия или набор прямолинейных сегментов.

4) 3D разлом, представляющий собой ограниченную поверхность в пространстве.

5) Отдельный точечный источник или сетка точечных источников.

6) Набор параллельно падающих плоскостей в пространстве.

Особенностью расчетной схемы R-CRISIS является разбиение зон ВОЗ на элементарные треугольные зоны (Рисунок 5).

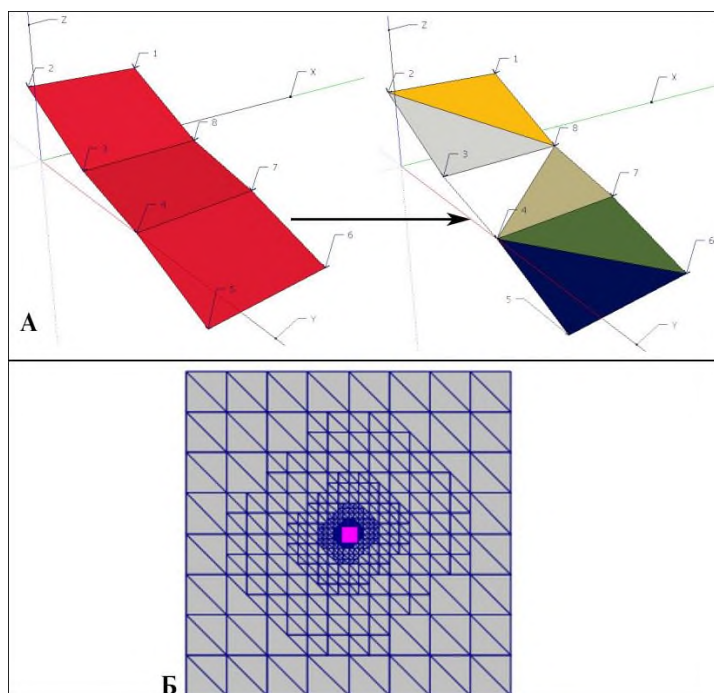


Рисунок 5 – Разбиение расчетным модулем R-CRISIS зон ВОЗ на элементарные треугольные зоны: А) 3D разлом, Б) Площадной источник

При этом, автоматическая процедура разбиения оперирует только теми вершинами по периметру зоны ВОЗ, которые задал пользователь. Поэтому при сложных формах площадных элементов модели данная процедура работает не оптимально, и требует дополнительного контроля в специальном модуле (Рисунок 6).

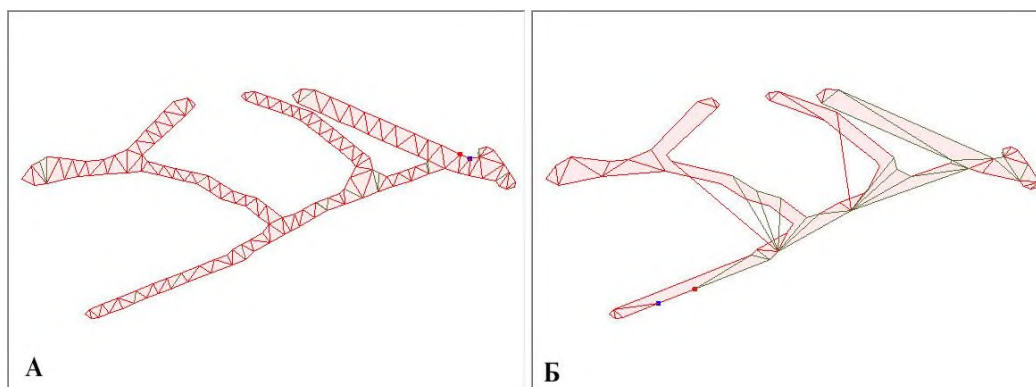


Рисунок 6 – Автоматическое разбиение в R-CRISIS площадной зон ВОЗ на элементарные треугольные зоны: А) Корректное, Б) Некорректное

С другой стороны, заложенный принцип иерархического разбиения зон ВОЗ в зависимости от удаленности от расчетной точки, позволяет оптимизировать схему расчета, при этом максимально учесть особенности модели зон ВОЗ в ближней расчетной зоне.

#### Набор УПДГ

В R-CRISIS встроены более 60 моделей УПДГ (модели затухания), в том числе NGA-West2. Пользователь может задать свою модель затухания в табличном виде.

#### Учет неопределенностей

Эпистемическая неопределенность учитывается через логические деревья следующим образом. Для каждой зоны ВОЗ можно задать либо одно УПДГ, либо гибридную модель из нескольких УПДГ на основе логического дерева. Использование логического дерева по зонам ВОЗ реализовано через объединение отдельных расчетных проектов, с присвоением каждому проекту весового коэффициента. Алеаторная неопределенность учитывается в структуре УПДГ.

#### Достоинства

R-CRISIS современный комплекс программных модулей для выполнения ВАСО классическим подходом. Удобный пользовательский интерфейс и набор модулей позволяют проследить и проверить корректность и адекватность задаваемых параметров. Возможность импортирования и

экспортирования данных в форматах ГИС инструментов и автоматическое заполнение файла рабочего проекта значительно облегчает выполнения расчетов ВАСО.

Стоит отметить, что R-CRISIS может работать с файлами современных инструментов ГИС. Например, всю геометрию зон ВОЗ можно импортировать в программу shp-файлами, а все параметры сейсмичности задать в полях этих shp-файлов. В ходе работы формируется файл рабочего проекта, куда заносятся все входные параметры, что позволяет использовать рабочие проекты и проводить вычисления на разных ЭВМ без каких-либо затруднений.

Программа, ее исходный код и руководство пользователю находятся в открытом доступе на электронном сайте <http://www.r-crisis.com>.

#### Недостатки

Принятая расчетная схема через разбиение зон ВОЗ на треугольные элементы требует очень тщательного выбора геометрии площадных зон ВОЗ, и дополнительной стадии контроля разбиения на предрасчетной стадии. Неудобная (рутинная) схема определения логического дерева УПДГ.

### **2.2.4 История развития программных средств на основе метода Монте-Карло**

В последнее время наблюдается тенденция к решению проблемы ВАСО с помощью моделирования методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло также известен как стохастический метод, ранее использовался для численной оценки сейсмической опасности в восьмидесятых годах. Его использовали Shapira (1983), Jonson и Koyanagi (1988) [20]. Однако этот метод получил широкое распространение после работ Rodger Musson (1999,2000), [J. E. Ebel](#) и [Alan Kafka](#) (1999).

В широко используемом подходе Cornell-McGuire возникают некоторые трудности, которые подвергаются критике, например, в работах Krinitzsky (2002); Klügel (2005). Основные замечания к классическому подходу следующие [21]:

- сложности включения неопределенностей в задание параметров повторяемости землетрясений;
- зависимость от предположения, что повторяемость землетрясений по времени рассматривается как Пуассоновский процесс;
- сложности в определении параметров задаваемых землетрясений.

Кроме того, в подходе Cornell-McGuire выделяют как явный недостаток отсутствие прозрачности в процессе расчета для пользователя, из-за которого невозможно выявить относительный вклад в сейсмическую опасность от различных источников и магнитуд. Многие из этих проблем решаются при анализе эпистемической неопределенности (неопределенности, возникающей из-за недостаточного знания процесса), но реализация такого анализа может стать аналитически и вычислительно громоздкой.

Для решения некоторых из перечисленных проблем была разработана другая, но одинаково подходящая для расчётов процедура ВАСО. Это процедура на основе метода Монте-Карло, в которой используется многочисленные случайные симуляции сейсмического процесса для выполнения анализа сейсмической опасности. Основы для процедуры Монте-Карло были заложены в работах по выполнению ВАСО в Израиле (Shapira, 1983), а позже и на Гавайях (Johnson and Koyanagi, 1988).

В работе Shapira 1983 года по оценке потенциального риска землетрясений был использован процесс моделирования, задача которого состояла в том, чтобы проверить надежность предыдущих оценок в Израиле и предоставить еще один общий инструмент для оценки риска землетрясения. В результате, была разработана относительно простая процедура Монте-Карло.

В основу разработанной процедуры Монте-Карло были заложены следующие основные предположения [23]:

- 1) Эпицентры землетрясения равномерно распределены в пределах областей сейсмической активности;
- 2) Магнитудно-частотное распределение описывается кумулятивным



среднегодовым числом событий выше или равной минимально заданной магнитуды, где логарифм числа событий нормально распределен вокруг среднего со стандартным отклонением;

3) Используется уравнение затухания, чтобы оценить пиковое ускорение грунта, где оцениваемое ускорение является логнормально распределенным;

4) Возникающие пиковые ускорения на исследуемой площадке будут распределены случайным образом по отношению ко времени.

Для всех областей источников землетрясений генерируется каталог землетрясений (эпицентры и магнитуды) на основе заданных каждой зоне возникновения очагов землетрясения (ВОЗ) магнитудно-частотных распределений в течение заданного периода времени. После выполняется расчет кривой вероятности превышения пикового ускорения грунта. В своей работе Sharira приводит пример расчета для периода времени 1000 лет, произведенного 35 раз, таким образом, получая на выходе средние значения вероятности превышения со стандартным отклонением.

К сожалению, вычислительная эффективность была таковой, что метод Монте-Карло был неэффективным во время своей первоначальной разработки. После того, как он оставался непригодным в течение более 10 лет, для ВАСО были разработаны две новые процедуры Монте-Карло. Эти процедуры немного отличались в своих подходах к моделированию сейсмичности.

Первая процедура использует случайную повторную выборку (с заменой) наблюдаемой сейсмичности для генерации синтетических каталогов землетрясений [24]. Вторая процедура симулирует сейсмичность случайной выборкой, на основе зон источников, повторяемости землетрясений и моделей затухания. Этот подход был применен к анализу сейсмической опасности на Балканах [26], Соединенном Королевстве [20] и Швейцарии.

Первая процедура, разработанная Ebel J.E. и Kafka A.L. в 1999 году,

заклучалась в следующем. На основании наблюдаемого каталога землетрясений и магнитудно-частотного распределения Гутенберга–Рихтера генерируется синтетический каталог землетрясений для заданного периода времени. В синтетическом каталоге события генерируются только с теми эпицентрами, которые присутствовали в наблюдаемом каталоге. Также допускается определяемое пользователем максимально возможное смещением от наблюдаемых эпицентров.

Одно общее магнитудно-частотное распределение задается для всей рассматриваемой области, поэтому магнитуды генерируются случайным образом для эпицентров синтетического каталога. Т.е. самые крупные магнитуды будут возникать в любом из синтетических эпицентров с повторяемостью, заданной магнитудно-частотным распределением. Дополнительно пользователь может задать список событий с магнитудами выше самых крупных в наблюдаемом каталоге и со своим магнитудно-частотным распределением.

После генерации синтетического каталога рассчитывается сейсмический эффект от каждого события, используя уравнение затухания. Вычисляется число превышений для заданных уровней движения грунта и нормируется к желаемому периоду времени. Затем вычисляется вероятность превышения для заданных уровней движения грунта.

В своих исследованиях Ebel и Kafka использовали уже более длительный синтетический каталог продолжительностью до 200 000 лет. Они написали компьютерную программу, которая именовалась как Ran\_Haz. Стоит отметить, что отличительными особенностями данной процедуры метода Монте-Карло заключались в том, что одно общее магнитудно-частотное распределение задается для всей рассматриваемой области, и что не используются зоны возникновения очагов землетрясений.

Другая процедура Монте-Карло, разработанная в тоже время Musson, R. M. W [26][20], состояла в следующем. Как и в предыдущей процедуре, генерируются синтетические каталоги землетрясений. Для каждого года

генерируются случайные числа и сравниваются с Пуассоновской моделью (или другой заданной пользователем моделью), чтобы определить, как много землетрясений произойдет в каждой зоне сейсмического источника.

Каждый эпицентр в пределах сейсмического источника определяется случайным образом, т.е. имеет равную вероятность произойти в любом месте источника землетрясения. Глубина землетрясения также генерируется случайно на основе статистического профиля распределения глубин землетрясений в каждой зоне. Значение магнитуды определяется случайным образом на основании принятого магнитудно-частотного распределения. Вся информация задается на основе анализа наблюдаемых каталогов землетрясений.

После генерации  $n$ -го количества синтетических каталогов от каждого землетрясения рассчитывается сейсмический эффект на основе принятой модели затухания и заданного разброса вокруг среднего значения этой модели. Сейсмический эффект рассчитывается добавлением случайной поправки к среднему значению модели затухания. Из наблюдения эффектов от землетрясений очень большого количества сгенерированных каталогов землетрясений можно рассчитать вероятности, просто посчитав количество результатов, превышающих критическое значение. В своих работах Musson использовал синтетические каталоги общей длительностью до одного миллиона лет. Разработанная процедура Монте-Карло была реализована в программе МЗС.

Стоит отметить, что авторы двух представленных процедур, разработанных в конце XX века, отмечали важность использования разлома, как линейного источника падающего под определенным углом, а также необходимость рассмотрения не только эпицентров и гипоцентров землетрясений, но и очагов землетрясения (площадь, где возникает разрыв или подвижка в земной коре). Если более конкретно, то учитывать ориентацию очага в пространстве и его размеры. Авторы отмечали явный недостаток в использовании метода Монте-Карло для оценки сейсмической

опасности – длительный по времени вычислительный процесс. Однако они также утверждали, что в ближайшем будущем эта проблема решится с увеличением вычислительных мощностей.

### **2.2.5 Обзор современных программных средств ВАСО на основе метода Монте-Карло**

В XXI веке использование процедуры Монте-Карло для выполнения ВАСО осуществлялось значительно реже, чем классический подход. Как правило, специалистами в разных странах выполнялись разработки программного обеспечения, ориентированного на решение региональных задач. Наиболее часто в публикациях упоминаются: MoCaHAZ, EQRM, МЗС, OpenQuake Engine, EqHaz, EAST-2016.

Несмотря на то, что MoCaHAZ, EQRM, МЗС описываются в литературе и приводятся результаты расчетов с их использованием, в открытом доступе данные программы отсутствуют, либо упоминаемые ссылки для скачивания ПО устарели.

#### **■ Программное обеспечение OpenQuake Engine**

Расчетный модуль OpenQuake Engine разрабатывался на основе программных модулей OpenSHA и реализован на языке программирования Python [30] в 2013 году и с тех пор постоянно совершенствуется. Процедура Монте-Карло, реализованная в расчетном модуле OpenQuake имеет следующие особенности. Как и во всех программах, которые используют процедуру Монте-Карло для расчета ВАСО, вначале генерируется длительный каталог землетрясений.

В площадных источниках эпицентры сгенерированных землетрясений располагаются равномерной сеткой в пределах источника с заданным пользователем шагом. Глубины и соответствующие им веса указываются пользователем во входном файле. Сгенерированные гипоцентры являются серединой площадки очага землетрясения или разрыва, который реализован как 3D плоскость [31]. Ориентация очага и механизм подвижки определяется

упомянутыми выше углами азимута простирания и падения, которые задает пользователь с соответствующими им весами. Также пользователь может задать угол подвижки очага для определения механизма очага землетрясения. Отметим, что очаги могут частично выходить за пределы площадного источника.

В 3D разломах гипоцентры располагаются равномерной сеткой в его плоскости. Однако, генерируются только те гипоцентры, чья площадка очага (3D плоскость) может полностью уместиться в пределах разлома [31]. Таким образом, в пределах зоны ВОЗ в течение длительного каталога возможны множество землетрясений, чьи все параметры очага (включая положение в пространстве) будут неоднократно повторяться. Однако сейсмический эффект от повторяющихся разрывов будет разный, так как в модели затухания используется случайная поправка к среднему значению (алеаторная неопределенность).

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что процедура Монте-Карло для выполнения ВАСО не была полностью реализована. Об этом говорит невозможность задания равномерного заполнения гипоцентрами всей задаваемой пользователем глубины сейсмогенной зоны площадного источника и невозможность задания равномерного распределения эпицентров в пределах источника. Однако, присутствует возможность задать их через веса, но данный способ нельзя назвать случайным, а заданные параметры и их веса целиком остаются на совести пользователя. Также отсутствует случайный розыгрыш параметров площадки очага землетрясения. Исходный код, расчетный модуль и вся необходимая информация для его использования находятся в открытом доступе на электронном сайте <https://storage.globalquakemodel.org/openquake>.

#### ■ Программный комплекс EqHaz

Одним из наиболее известных комплексов программных модулей для проведения ВАСО методом Монте-Карло является программный комплекс

EqHaz.

EqHaz – программный комплекс с открытым исходным кодом на языке программирования FORTRAN. В основу расчетного модуля положена процедура для выполнения VACO методом Монте-Карло, предложил Musson. Данное ПО было реализовано в 2010–2011 годах Karen Assatourians и Gail M. Atkinson, как альтернатива программам, основанным на классическом подходе [33].

EqHaz использует площадные источники, 3D разломы, магнитудно-частотные распределения Гутенберга–Рихтера (неограниченное, ограниченное, ограниченное с «плавающей» максимальной магнитудой), а также определяемое пользователем дискретное кумулятивное распределение по магнитуде и распределение вероятностей с заданным приращением по магнитуде. УПДГ задаются в табличном виде, для каждой частоты колебания отдельно по магнитудам и расстоянию указывается значение движение грунта, а также свое стандартное отклонение. Входные данные задаются файлами формата ASCII.

Выходные данные включают в себя синтетические каталоги землетрясений, сгенерированные на основании параметров сейсмичности, заданных пользователем. А также каталоги движения грунта на площадке, средние кривые опасности и средние значения движения грунта на исследуемой площадке (площадках) для заданных периодов повторяемости (генерируются карты опасности).

Деагрегация опасности выполняется автоматически, программа отслеживает, какие смоделированные события каталога приводят к превышению заданных уровней амплитуды движения грунта. Выходные данные включают в себя список комбинаций магнитуда-расстояние-сигма, которые вносят вклад в пиковые движения для заданного периода повторяемости.

По мнению разработчиков, EqHaz предоставляет гибкую альтернативу другим доступным ПО, таким как OpenSHA, который подходит для многих

задач, особенно тех, для которых преобладают площадные источники. Программный пакет EqHaz выполняет и заполняет те пробелы, которые присутствуют в разработанных ПО для ВАСО. Исходный код программы EqHaz и дополнительная информация для работы с ним находится на электронном сайте <https://www.seismotoolbox.ca>. Пакет EqHaz состоит из трех отдельных программ, каждая из которых выполняет свою функцию для получения итогового результата: EqHaz1, EqHaz2, EqHaz3.

В качестве плюсов EqHaz следует отметить, что набор зон ВОЗ соответствует минимальному для проведения ВАСО, но не включает точечные источники. Присутствует широкий выбор магнитудно-частотного распределения. Можно легко использовать любые модели затухания, переводя их в табличный вид (однако это так же является минусом). Присутствует альтернативный расчет деагрегации и квантилей опасности. Возможность генерировать каталог землетрясений на длительный период времени – порядка 10 000 000 лет. Также стоит отметить, что EqHaz предоставляет пользователю прозрачную и наглядную схему расчета на каждом шаге вычислений.

В качестве минусов можно отметить следующее. Разделение площадных зон ВОЗ на элементарные ячейки, в результате чего эпицентры либо выходят за пределы источника, либо не до конца заполняют источник. Расчет ближайшего расстояния до площадки очага (разрыва) и ближайшего расстояния до проекции разрыва на поверхность вычисляется с помощью статистических эмпирических моделей, разработанных для Северной Америки [34]. Данный аспект вносит ограничение на использование данного ПО для других территорий. Модели затухания задаются сразу для всех зон ВОЗ, а не отдельно для каждой, что также влечет за собой ограничения для использования. Модели затухания задаются в табличном виде, а не формулой, что приведет к дополнительным погрешностям в расчете. Отсутствует возможность задания механизмов очагов землетрясений, что накладывает ограничение на использование современных моделей затухания.

Несмотря на все минусы, EqHaz можно считать успешным ПО, где процедура ВАСО базируется на методе Монте-Карло. Программный пакет был специально разработан для проведения ВАСО в Северной Америке с низкой и умеренной сейсмичностью [43], поэтому имеет ряд ограничений. А рассмотрение недостатков и преимуществ данного ПО позволит сравнить его с отечественными разработками.

#### ■ Программное обеспечение EAST-2016

Наиболее удачной реализацией процедуры ВАСО на основе метода Монте-Карло объективно можно считать PRB-60, разработанная в рамках методики ОСР-97.

Изначально программа расчета сотрясаемости PRB создавалась в 1994-1995 гг. в среде Fortran для расчетов карты ДСР Корякского АО. Методические основы пакета и базовые алгоритмы были разработаны А.А. Гусевым с участием Л.С. Шумиловой и В.М. Павлова, программная реализация пакета осуществлена В.М. Павловым.

Актуализация ПМО PRB-60 была выполнена в 2003 г. сотрудниками Красноярского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья (КНИИГиМС) – С.А. Перетокиным и А.Б. Иванцовым, под руководством В.И. Уломова и Л.С. Шумиловой [Уломов, 2007б]. Модернизированное ПМО получило название EAST-2003.

В 2010–2016 гг. в процессе работы по актуализации ОСР-97 и разработкой карт ОСР-2012 / 2014 / 2016 ПМО EAST-2003 модернизировано С.А. Перетокиным и Е.В. Бодякиным. ПМО выполнено в программной среде Microsoft Visual Studio 2008 и получило наименование EAST-2016. При этом к функциональным возможностям PRB-60 и EAST-2003 добавлены:

- процедура деагрегационного анализа сейсмической опасности;
- возможность использования индивидуальных моделей затухания для различных зон ВОЗ;
- расчет численных характеристик сейсмической опасности PGA и SA.



- EAST-2016, в отличие от EAST-2003 имеет простой одностраничный интерфейс (Рисунок 7).

Расчетный модуль EAST-2016 представляет собой целостный алгоритм, который использует набор входных данных организованных в базе данных \*.mdb. В базе данных в виде таблиц содержится вся необходимая информация для выполнения ВАСО:

- 1) Входные параметры;
- 2) Таблица соответствия магнитуд, используемых для зон ВОЗ, и  $M_w$ ;
- 3) Площадной 3D (домены):
  - Параметры доменов;
  - Вершины доменов;
  - Сейсмический режим доменов;
- 4) Простой 3D разлом:
  - Параметры разлома;
  - Вершины разлома;
  - Сейсмический режим разлома;
- 5) УПДГ:
  - Сейсмический эффект – параметры модели затухания по А.А. Гусеву;
  - Параметры импортированных УПДГ NGA-West2.

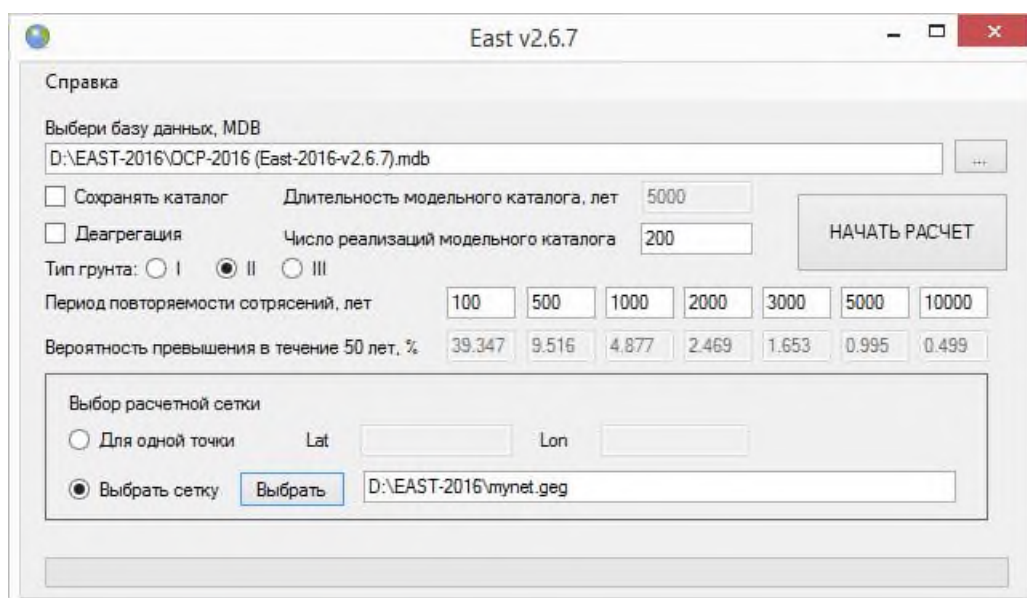


Рисунок 7 – Интерфейс программы EAST-2016

Результаты расчетов сохраняются в текстовом формате. Каждой точке расчетной сетки соответствует строка с расчетными характеристиками (всего 95) сейсмической опасности для периодов повторяемости 100, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 лет. В том числе: интенсивность сотрясений в долях балла, VI, VII, VIII, IX – периоды повторяемости (лет) сотрясений 6, 7, 8, 9 баллов, PGA (в долях g) и обобщенный спектр реакции SA (в долях g) по 10 периодам собственных колебаний.

Синтезированный каталог при необходимости сохраняется в отдельный файл в табличной форме.

Процедура деагрегационного анализа сейсмической опасности реализована в двух вариантах: оценка вклада в расчетные воздействия землетрясений с шагом по магнитуде и гипоцентральному расстоянию; оценка индивидуального вклада в расчетное воздействие зон ВОЗ.

#### Набор УПДГ

В EAST-2016 встроены 4 модели УПДГ NGA-West2, эмпирическая модель затухания Ф.Ф. Аптикаева [44] и модель макросейсмического поля по А.А. Гусеву, разработанная в рамках создания методики ОСП-97 [45].

#### Учет неопределенностей

Существенным отличием EAST-2016 от перечисленных выше ПО

ВАСО является более широкий набор возможностей для учета эпистемических неопределенностей, связанных с использованием конкретных моделей зон ВОЗ. Фактически для каждой характеристики зон ВОЗ и модельных очагов задаются параметры распределения вероятных значений. При этом случайные поправки автоматически рассчитываются при формировании синтетического каталога.

В отличие от дискретного характера учета эпистемических неопределенностей на основе структур логического дерева, подход EAST-2016 обеспечивает более «гладкое» решение.

В классическом подходе ВАСО опасность рассчитывается непосредственно от зон ВОЗ с фиксированной геометрией, тем самым неопределенность положения разломной зоны может существенно влиять на результат расчетов. В связи с этим применяются дополнительные «ветки» логических деревьев, которые учитывают наиболее вероятные параметры пространственного положения зон ВОЗ.

Реализованная в EAST-2016 процедура синтеза каталога землетрясений позволяет учесть указанные неопределенности еще на стадии подготовки модели зон ВОЗ. Так для линеаментных структур кроме координат, угла падения плоскости разлома и интервала глубин гипоцентров дополнительно задаются: стандартное отклонение гипоцентра очага от плоскости линеамента; возможность и величина выхода площадки очага землетрясения за пределы линеамента; стандартное отклонение угла падения плоскости линеамента; величины углов падения площадок очагов и их стандартные отклонения, интервал глубин для площадок очагов и т.д.

Генерация происходит поочередно для тех зон ВОЗ, которые способны оказать влияние на исследуемую площадку выше заданного порога. Как правило, при расчетах для обширных территорий с большим количеством итераций сохраняется только статистика повторяемости воздействий, без сохранения каталога. Это существенно экономит вычислительные ресурсы и ускоряет процедуру расчета.

Алеаторная неопределенность по умолчанию учитывается в структурах УПДГ, моделях затухания [44] [45], и не требуют участия пользователя.

#### Достоинства

К достоинствам программного комплекса EAST-2016 можно отнести прозрачность схемы расчетов на протяжении всей цепочки моделирования. В том числе это касается возможности работы с модельным каталогом. Подобные возможности крайне важны для контроля корректности и отладки моделей зон ВОЗ.

Задание параметров моделей зон ВОЗ и УПДГ в формате единой базы данных позволяет упростить, ускорить и автоматизировать процесс подготовки входных данных, и снижает вероятность ошибок на данной стадии.

ПО EAST-2016 разработано с учетом СП 47.13330.2016, и ориентировано на обеспечение технологической цепочки ОСР-ДСР-СМР.

#### Недостатки

EAST-2016 предназначен исключительно для проведения расчетов, не содержит модулей для подготовки и формирования модели зон ВОЗ и УПДГ. Также к недостаткам можно отнести отсутствие полноценного графического интерфейса, сохранение результатов расчетов только в текстовом формате, без конвертации в форматы Гис-приложений.

### **2.3 Выводы по разделу 2**

Таким образом, результаты анализа выполненных исследований и действующих отечественных и зарубежных нормативно-технических документов и материалов, регламентирующих требования к разработке критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе жилых зданий нетипового массового строительства и проведения экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации, показывают, что на сегодняшний день активные исследования в данном направлении не ведутся.

Существующие подходы и методики к оценке дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки на основе расчетно-аналитических методов и методов с применением инструментального обследования и диагностики зданий позволяют достоверно оценить сейсмостойкость отдельных конкретных зданий, для которых выполнялись детальные исследования, но не позволяют решить данную проблему для зданий нетипового (индивидуального) массового строительства на уровне регионов и страны в целом. В связи с чем отсутствует комплексная качественная и количественная оценка дефицита сейсмостойкости зданий существующей застройки на территории Российской Федерации

### **3 Разработка критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства**

#### **3.1 Общие сведения по разделу**

Непосредственный дефицит сейсмостойкости, выраженный в баллах сейсмической интенсивности, не позволяет нам провести сопоставление по причиненному от потенциального землетрясения ущербу. Так, например, при потенциальном землетрясении интенсивностью 9 баллов, здание с дефицитом сейсмостойкости в 1 балл получит гораздо большие повреждения, чем здание с аналогичным дефицитом при семи балльном землетрясении. В связи с этим, возникла необходимость разработки универсальных критериев дефицита сейсмостойкости.

В настоящем разделе авторами предложены следующие критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства (раздел 3.12):

- величина общего абсолютного потенциального ущерба от единичного сейсмического события для региона ( $R_u$ );
- величина потенциального ущерба, отнесенная к общей площади застройки в регионе ( $R_s$ );
- величина потенциального ущерба, отнесенная к численности населения по региону ( $R_p$ );
- величина приведенного ущерба на кв.м, отнесенная к стоимости строительства 1 кв.м ОКС ( $R_{us}$ ).

В зависимости от степени детализации, наличия и полноты исходных данных, а также масштабности решения задачи предложены 3-х (экспресс-методика настоящего раздела) и 4-х параметрическая (см.раздел 4) методики формирования дефицита сейсмостойкости ОКС.

В настоящем разделе, в рамках экспресс-методики расчета дефицита сейсмостойкости предложены параметры  $S_1$ ;  $S_2$  и  $S_3$ , отвечающие за различные аспекты состояния ОКС.  $S_1$  определяется «живучестью» системы.

$S_2$  определяется соответствием объемно-планировочных и конструктивных решений действующим требованиям по стандартизации.  $S_3$  определяется соответствием по критериям требований норм. Подробное описание параметров дефицита сейсмостойкости приведено в разделе 3.5.

Разработка критериев оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки (ОКС) на основе жилых зданий нетипового массового строительства проводится по следующим основным этапам:

- анализ исходной сейсмичности и определение расчетной интенсивности воздействия (интенсивность моделируемого события);
- сбор и организация базы исходных данных существующей застройки. Данный этап нацелен на унификацию и структурирование данных по существующей застройке различного функционального назначения.
- оценка уязвимости в зависимости от конструктивного исполнения зданий нетипового массового строительства;
- оценка повреждаемости зданий массового строительства в результате расчетного сейсмического воздействия. Результат оценки представляется в виде степени повреждения здания от расчетного сейсмического воздействия.
- оценка ущерба от воздействия землетрясений, на здания нетипового массового строительства;
- оценка величины общего абсолютного ущерба от единичного сейсмического события для региона;
- оценка величины ущерба, отнесенная к общей площади застройки в регионе;
- оценка величина ущерба, отнесенная к численности населения по региону.

В данной методике ущерб выражается в качестве прямого экономического (возможные затраты на восстановление зданий и сооружений) ущерба, связанного с разрушительными землетрясением на территории РФ.

Под ущербом от разрушительного землетрясения понимаются прогнозируемые затраты на замещение или восстановление объектов (включая затраты на проведение оценки состояния грунта, фундамента и несущих конструкций зданий нетипового массового строительства) в связи с воздействием на них смоделированных землетрясений.

Косвенный ущерб в разработанной методике не учитывается. Под косвенным ущербом понимаются потери, убытки и дополнительные затраты, которые несут физические и юридические лица, по причинам, отличным от воздействия поражающих факторов катастрофического землетрясения на ОКС, а также выражение вреда, который получают физические и юридические лица, а также ОКС, не попавшие в зону воздействия землетрясения. Косвенный ущерб, кроме прочего, включает в себя денежное выражение вреда жизни и здоровью граждан, любые виды экологического ущерба, затраты, связанные с проведением аварийно-спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ, а также иных работ, непосредственно не связанных с восстановлением или замещением ОКС.

Оценка ущерба, выраженного в денежном эквиваленте, включает определение следующих параметров:

- связи между степенью повреждения и затратами на восстановление зданий нетипового массового строительства в процентном соотношении от первоначальной стоимости строительства;
- дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства;
- количества кв. метров жилого фонда в рассматриваемой зоне;
- затрат на восстановление разрушенных и восстановление поврежденных зданий и сооружений.

Процедура оценки ущерба зданий нетипового массового строительства предполагает следующую последовательность выполнения работ:

- подготовка исходных данных (раздел 3.2);



- оценка фоновой сейсмичности (раздел 3.3);
- оценка дефицита сейсмостойкости (раздел 3.5);
- оценка фактической сейсмостойкости (раздел 3.6);
- оценка расчетного уровня сейсмического воздействия (раздел 3.7);
- оценка функции уязвимости (раздел 3.8);
- оценка величины ущерба для объекта (раздел 3.10);
- оценка критериев дефицита сейсмостойкости (раздел 3.12).

Все стоимостные оценки рассчитываются в текущих ценах, основываются на данных кадастровой стоимости с учетом коэффициентов инфляции на момент расчета.

Ниже приведены логические блок-схемы, характеризующие последовательность операций для определения требуемых параметров, а также необходимые для расчетов исходные данные (далее – ИД).

На рисунке ниже (Рисунок 8) приведена блок-схема оценки фоновой сейсмичности.



Рисунок 8 – Блок–схема оценки фоновой сейсмичности

На рисунке ниже (Рисунок 9) приведена блок-схема оценки дефицита сейсмостойкости.

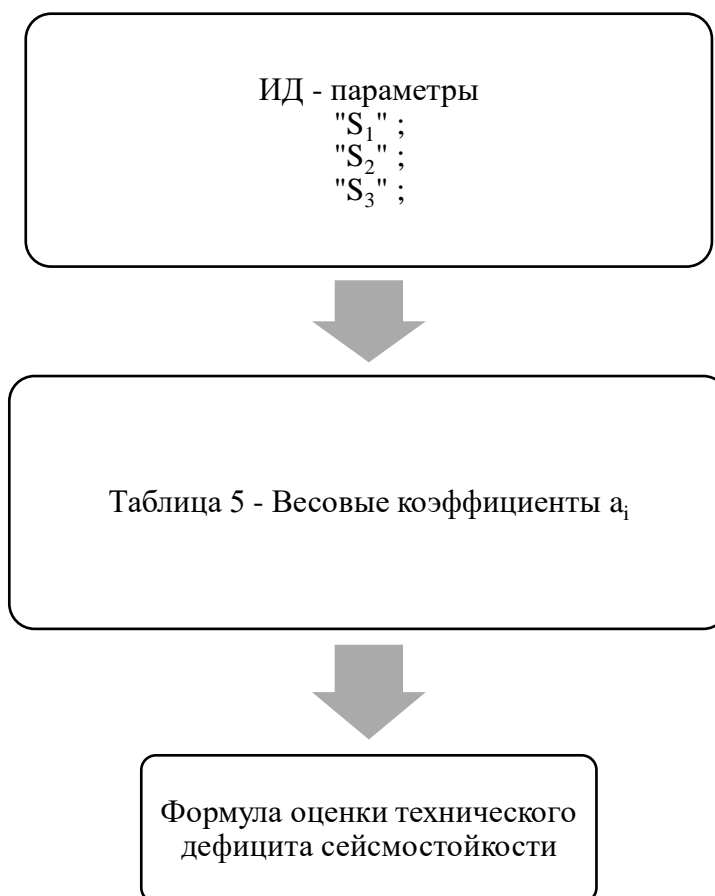


Рисунок 9 – Блок–схема оценки дефицита сейсмостойкости

На рисунке ниже (Рисунок 10) приведена блок-схема оценки критерия  $S_1$



Рисунок 10 – Блок-схема оценки критерия  $S_1$

На рисунке ниже (Рисунок 11) приведена блок-схема оценки критерия  $S_2$

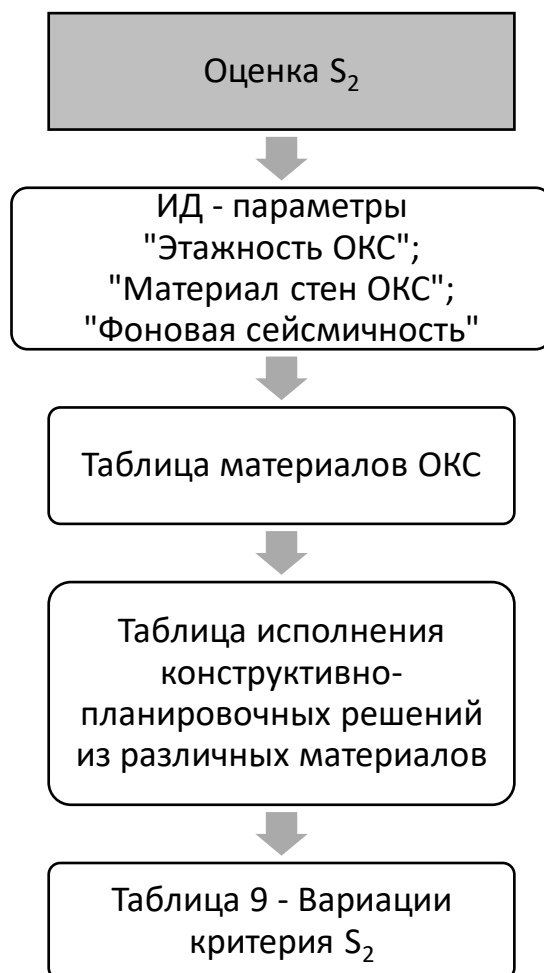


Рисунок 11 – Блок-схема оценки критерия  $S_2$

На рисунке ниже (Рисунок 12) приведена блок-схема оценки критерия  $S_3$

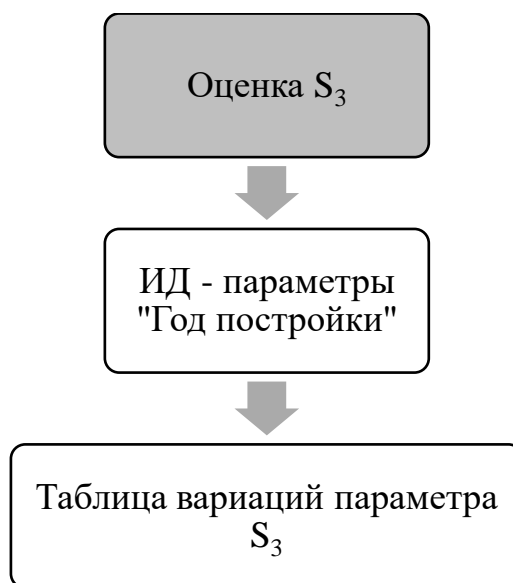


Рисунок 12 – Блок–схема оценки параметра  $S_3$

На рисунке ниже (Рисунок 13) приведена блок-схема оценки фактической сейсмостойкости

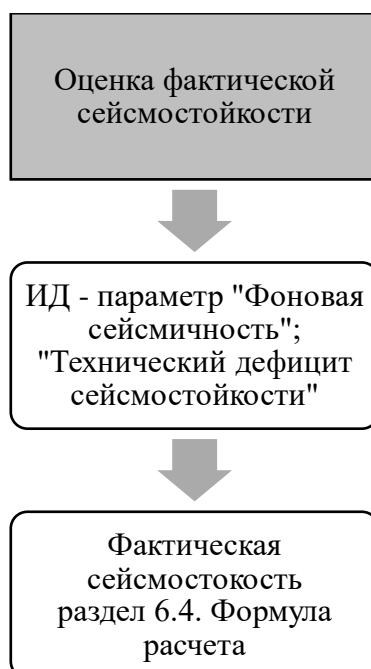


Рисунок 13 – Блок–схема оценки фактической сейсмостойкости

На рисунке ниже (Рисунок 14) приведена блок-схема оценки расчетного уровня сейсмического воздействия



Рисунок 14 – Блок–схема оценки расчетного уровня сейсмического воздействия

На рисунке ниже (Рисунок 15) приведена блок-схема оценки функции уязвимости ОКС, т.е. оценки степени повреждения в зависимости от уровня сейсмического воздействия и фактической сейсмостойкости

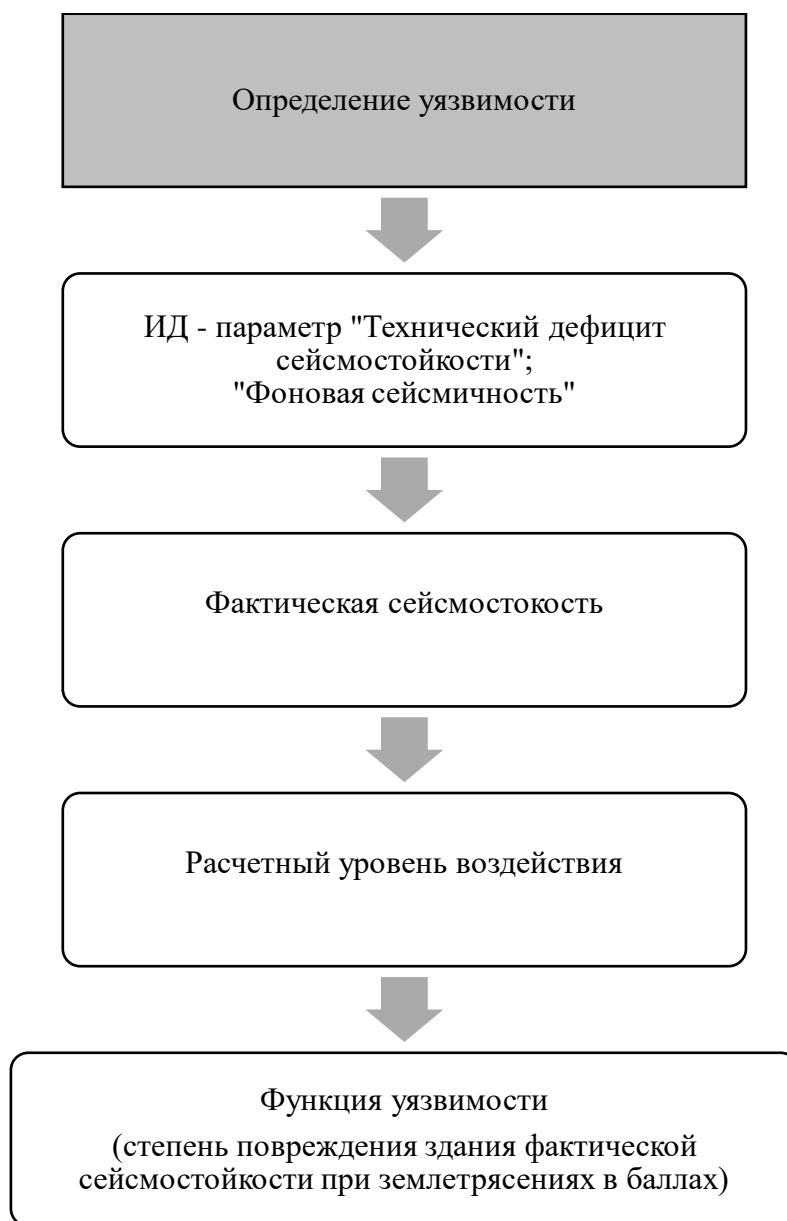


Рисунок 15 – Блок–схема оценки функции уязвимости

На рисунке ниже (Рисунок 16) приведена блок-схема оценки величины ущерба для объекта.



Рисунок 16 – Блок–схема оценки величины ущерба



На рисунке ниже (Рисунок 16) приведена блок-схема оценки критериев дефицита сейсмостойкости

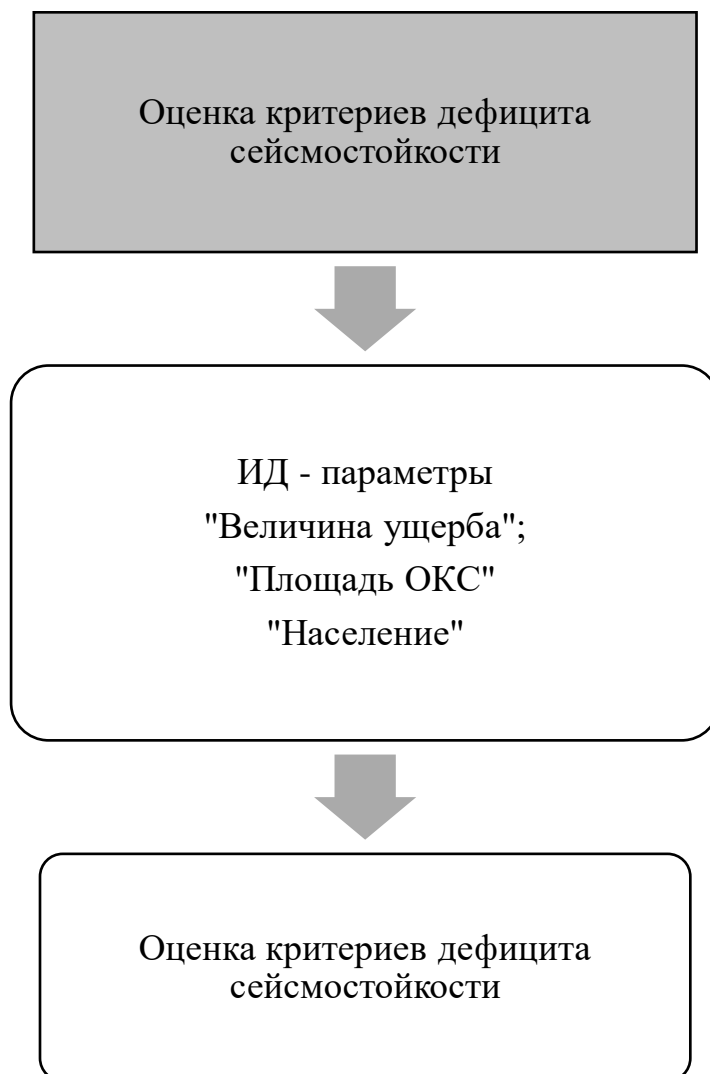


Рисунок 17 – Блок-схема оценки критериев дефицита сейсмостойкости

### **3.2 Исходные данные моделирования**

Методика оценки критериев дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства от воздействия, вызванных землетрясениями основывается на следующих исходных данных, отнесенных к каждому объекту капитального строительства:

- Карты ОСР 2015 А, В, С (нормативная сейсмичность);
- Расчетная интенсивность сейсмического воздействия;
- Этажность ОКС;
- Материал стен ОКС;
- Назначение здания;
- Год постройки;
- Кадастровый номер ОКС;
- Кадастровый номер квартала;
- Кадастровая стоимость;
- Дата определения кадастровой стоимости;
- Адрес ОКС;
- Площадь ОКС;
- Координаты ОКС.

#### **3.2.1 Нормативная сейсмичность ОКС**

Нормативную интенсивность сейсмических воздействий в баллах (фоновую сейсмичность) для района строительства, а соответственно и для конкретного ОКС, следует принимать на основе комплекта карт ОСР-2015 территории Российской Федерации, утвержденных в установленном порядке. Указанный комплект карт предусматривает осуществление антисейсмических мероприятий при строительстве объектов и отражает 10% (карта А ОСР-2015), 5% (карта В ОСР-2015), 1% (карта С ОСР-2015) вероятности возможного превышения (или 90, 95 и 99% вероятности непревышения) в течение 50 лет указанных на картах значений сейсмической интенсивности. Указанным значениям вероятностей соответствуют

следующие средние интервалы времени между землетрясениями расчетной интенсивности: 500 лет (карта А ОСР-2015), 1000 лет (карта В ОСР-2015), 5000 лет (карта С ОСР-2015).

Для существующих объектов возможно изменение фоновой сейсмичности при актуализации карт ОСР.

### **3.2.2 Расчетная интенсивность сейсмического воздействия**

Расчетная интенсивность сейсмического воздействия может быть выражена в виде фоновой нормативной сейсмичности, принимаемой по карте ОСР или с учетом моделирования сценарного землетрясения в соответствии с разделом 3.4 настоящего отчета.

При использовании в качестве воздействия карт ОСР получается завышенная оценка потенциального ущерба связанная с низкой вероятностью одновременного возникновения сейсмических событий в разных частях регионов.

Моделирование землетрясений должно осуществляться с учетом максимально возможной магнитуды землетрясения в каждой зоне возникновения очагов землетрясения (ВОЗ) по кратчайшему расстоянию до гипоцентра.

Исходными данными для определения сейсмической опасности территории будут служить результаты моделирования сейсмического воздействия.

Модель сейсмического воздействия может применяться к произвольному землетрясению – модельному из синтетического каталога или реальному.

### **3.2.3 Этажность ОКС**

Под этажностью следует понимать количество этажей, считая от уровня отмотки или поверхности земли. Значение принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости или иных баз данных.

### **3.2.4 Материал стен ОКС**

Данный параметр определяется материалом несущих конструкций и принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости. Параметр может быть представлен следующими значениями:

- стальные;
- железобетонные;
- бетонные;
- кирпичные;
- каменные;
- деревянные;
- из прочих материалов.

### **3.2.5 Наименование ОКС**

Данный параметр определяет ответственность ОКС.

На основании классификации зданий и сооружений, предложенной в [8], предложено ранжирование параметра «Наименование» данных Росреестра.

В соответствии с данным параметром происходит назначение карты ОСР-2015 для определения уровня фоновой сейсмичности. Идентификация ответственности ОКС производится на основании сведений об его функциональном назначении в соответствии с разделом 3.2 настоящего отчета.

### **3.2.6 Год постройки ОКС**

Данный параметр определяет год постройки ОКС и принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости. Если дата строительства неизвестна, то устанавливается значение «1969».

### **3.2.7 Кадастровый номер квартала, ОКС**

Кадастровый номер квартала участка и ОКС принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости.

Данный параметр используется для дополнительной идентификации ОКС, а также для возможности масштабирования ущерба по кварталу.

### **3.2.8 Кадастровая стоимость**

Кадастровая стоимость ОКС принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости и используется для расчетов фактической стоимости ОКС через коэффициенты инфляции.

### **3.2.9 Дата определения кадастровой стоимости ОКС**

Дата определения кадастровой стоимости принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости.

Кадастровая стоимость на период анализа ущерба определяется посредством индексов инфляции в соответствии с разделом 3.10.

### **3.2.10 Адрес ОКС**

Адрес ОКС принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости.

### **3.2.11 Площадь ОКС**

Площадь ОКС принимается на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости.

Под площадью необходимо понимать общую площадь ОКС.

### **3.2.12 Координаты ОКС**

Принимаются по данным Росреестра или могут быть определены по адресу объекта с использования функционала Яндекс – Геокодер или аналогов.

### 3.3 Фоновая сейсмичность ОКС

Значение фоновой сейсмичности принимается в баллах для района строительства на основе выбранного комплекта карт общего сейсмического районирования территории РФ ОСР-2015.

Требования к исходным данным приведены в разделе 3.2.1.

Выбор карты сейсмического районирования для определения фоновой сейсмичности осуществляется на основании ответственности ОКС (Таблица 1), определяемой в соответствии с наименованием ОКС, параметры которого приведены в разделе 3.2.5.

Для п.1 из таблицы ответственности объектов (Таблица 1) фоновая сейсмичность принимается по карте А ОСР-2015.

Для п.2 из таблицы ответственности объектов (Таблица 1) фоновая сейсмичность принимается по карте В ОСР-2015.

Для п.3 из таблицы ответственности объектов (Таблица 1) фоновая сейсмичность принимается по карте С ОСР-2015.

Таблица 1 – Ответственность ОКС

№ п/п	Ответственность ОКС
1	Жилые строения, здания жилого назначения
2	Здания культурного и социального назначения
3	Объекты безопасности, опасные, технически сложные и уникальные объекты

Ответственность ОКС определена на основании таблицы назначений зданий и сооружений [8] (Таблица 2). Таблица 2 приведена ниже для справки.

Таблица 2 – Назначение зданий и сооружений по СП 14.13330.2018 [8]

<b>Назначение зданий и сооружений</b>
<p>Объекты безопасности, опасные, технически сложные и уникальные объекты</p> <p>а) Объекты, отнесенные к особо опасным и технически сложным, перечисленные в [1, статья 48.1, пункт 1, подпункты 1), 4), 5), 6), 9), 10.1), 11а)], за исключением сооружений, и [1, статья 48.1, пункт 2, подпункты 1), 2)];</p> <p>б) объекты (здания, сооружения и коммуникации) жизнеобеспечения городов и населенных пунктов;</p> <p>в) монументальные здания и сооружения;</p> <p>г) правительственные здания повышенного уровня ответственности;</p> <p>д) жилые, общественные и административные здания высотой более 200 м;</p> <p>е) мачты и башни сооружений связи и телерадиовещания высотой более 200 м;</p>
<p>Здания культурного и социального назначения</p> <p>а) объекты, перечисленные в [1, статья 48.1, пункт 1, подпункты 7), 8), 10.2), 11б), 11в)] и [1, статья 48.1, пункт 2, подпункты 3), 4)];</p> <p>б) функционирование которых необходимо при землетрясении и ликвидации его последствий (здания правительственной связи; службы МЧС и полиции; системы энергоснабжения, водоснабжения и водоотведения; сооружения пожаротушения, газоснабжения; сооружения, содержащие большое количество токсичных или взрывчатых веществ, которые могут быть опасными для населения; медицинские организации, имеющие помещения и оборудование для организации медицинского обеспечения населения в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера);</p> <p>в) здания центральных государственных музеев; государственных архивов; административных органов управления; здания хранилищ национальных и культурных ценностей; зрелищные объекты; крупные учреждения здравоохранения и торговые предприятия с массовым нахождением людей; сооружения с пролетом более 60 м; жилые, общественные и административные здания высотой более 75 м; мачты и башни сооружений связи и телерадиовещания высотой более 75 м; трубы высотой более 75 м;</p>

г) здания: дошкольных образовательных организаций, общеобразовательных организаций, для МГН длительного пребывания и проживания, спальных корпусов интернатов; лечебно-профилактических медицинских организаций со стационаром, медицинских центров
Жилые строения, здания бытового назначения производственные здания
Здания и сооружения, не указанные в позициях 1 и 2

Ранжирование ОКС по ответственности осуществляется в соответствии с параметром «Наименование ОКС» (раздел 3.2.5) на основании ключевых слов, приведенных в Таблице 3.

Таблица 3 –Ключевые слова в параметре «Наименование ОКС»

№ п/п	Ключевые слова	№ строки Таблица 1
1	Атомной энергии, ядерные, радиоактивных, дамбы, плотины, космос, АЭС, ГЭС, ТЭЦ, ГРЭС, электростанция, СПГ, ГПЗ, СУГ, нефть, горные, руда, ископаемые, металл, расплавы, коммуникации, правительство, ВЛ, связь, антенна,	3
2	АВК, аэровокзал, вокзал, транспорт, железнодорожный, порт, верфь, морской, речной, мачты, ЧС, МЧС, ГОУ ЧС, землетрясения, пожаротушения, водоснабжения, газоснабжения, токсичные, взрывчатые, очистные, торговый центр, школа, гимназия образовательный, медицинский, чрезвычайный, дошкольный, детский сад, лечебный, профилактический, пансионат, дом престарелых, лаборатория, стационар, центр, администрация, трансформатор, подстанция,	2
3	Жилой дом, жилые дома, общежитие, гараж, многоквартирный, Наименования ОКС не указанные в позициях 1 и 2	1



В случае, если по ключевым словам ОКС попадает в различные категории ответственности – следует принимать большую по степени значимости категорию.

Значение фоновой сейсмичности принимается в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Фоновая сейсмичность

<b>№ строки Таблица 1</b>	<b>Карта ОСР-2015</b>
1	А
2	В
3	С

Значение фоновой сейсмичности зданий нетипового массового строительства (п. 1 таблицы 1) ниже 75м по умолчанию принимается по карте А ОСР-2015. Значение фоновой сейсмичности жилых зданий высотой более 75м назначается по карте В ОСР-2015. Значение фоновой сейсмичности жилых зданий высотой более 100м назначается по карте С ОСР-2015.

Значение фоновой сейсмичности для ОКС, расположенных в приграничных областях (на линеаментах карт ОСР), необходимо принимать по результатам уточнения исходной сейсмичности или наименьшей из рассматриваемых.

### 3.4 Расчетная интенсивность сейсмического воздействия.

#### Модель зон ВОЗ

Для моделирования очагов потенциальных землетрясений при определении ущерба от единичного воздействия используется 2 типа моделей зон ВОЗ (Рисунок 18):

- линейные структуры (линеаменты), которые в генерализованном виде представляют из себя сейсмически активные разломы и которые несут основную часть сейсмического потенциала.
- площадные структуры (домены), которые охватывают объемы геологической среды, внутри которых с равной плотностью расположены (рассеяны) очаги землетрясений умеренных и невысоких магнитуд. Домены зачастую используются, когда не представляется возможным идентифицировать определенный разлом.

Зоны ВОЗ, как входные данные, импортируются в программный модуль в виде ГИС слоев в формате \*.shp-файлов. Отдельный файл как для доменов, так и для линеаментов. Домены зачастую используются, когда не представляется возможным идентифицировать определенный разлом по линеаментам.

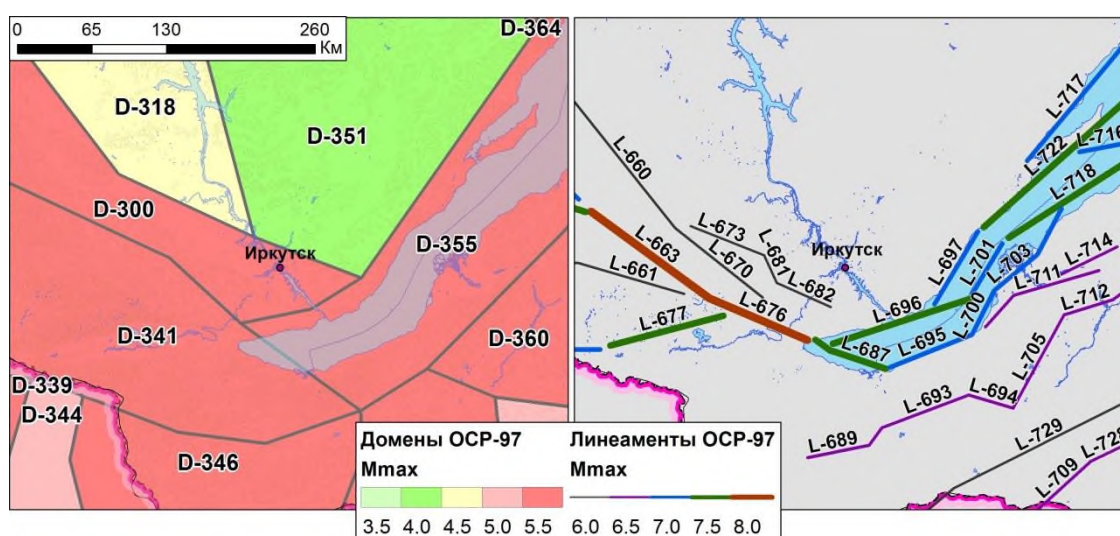


Рисунок 18 – Элементы модели зон ВОЗ ОСП-97(2015) для 200 км.  
Зоны, г. Иркутск

### 3.4.1 Доменные структуры модели зон ВОЗ

Каждый домен представляет собой замкнутый двухмерный контур на поверхности земли по координатам вершин (lat, lon). В таблице атрибутов \*.shp-файла по каждому отдельному домену (в каждой отдельной строке) содержатся следующие заполненные пользователем поля (входные данные для расчета):

Поле идентификационного номера домена (DOM).

- Поля магнитуд землетрясений (M1, M2, ..., M12), которые будут разыгрываться в пределах домена;
- Поля среднегодовой частоты возникновения землетрясений для каждой магнитуды (V1, V2, ..., V12);
- Поля границ, указывающие на интервалы глубин в км (h0, h1, ... h10);
- Веса, соответствующие каждому интервалу глубин (p1, p2, ... p10) при моделировании очагов землетрясений;
- Поле значений преобладающего азимута простираения верхних кромок очагов (AZ);
- Поле стандартного отклонения азимута (dAZ);
- Поле преобладающего угла падения площадок очагов (E);
- Стандартного отклонения угла падения (dE).

В таблице (Таблица 5) представлен пример атрибутов shp-файла для доменов.

Таблица 5 – Пример атрибутов shp-файла для доменов

DOM	M1	M2	...	M12	V1	V2	...	V12	h0	h1	h2	...	h10	p1	p2	...	p10	AZ	dAZ	E	dE
1	2.5	3.0	...	8	0.01000	0.00316	...	0	1.0	2.0	7.0	...	0.0	0.1	0.3	...	0	0	180	90	10
2	2.5	3.0	...	8	0.01259	0.00398	...	0	1.0	2.0	7.0	...	0.0	0.1	0.3	...	0	0	180	90	10
3	2.5	3.0	...	8	0.02512	0.00794	...	0	1.0	2.0	7.0	...	0.0	0.1	0.3	...	0	0	180	90	10
4	2.5	3.0	...	8	0.02536	0.00977	...	0	1.0	2.0	7.0	...	0.0	0.1	0.3	...	0	0	180	90	10

...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	2.5	3.0	...	8	0.02187	0.00813	...	0	1.0	5.0	10.0	...	0.0	0.1	0.3	...	0	0	180	90	10

### 3.4.2 Линеаментные структуры модели зон ВОЗ

Каждый линеамент представляет собой либо прямую, либо ломаную двухмерную линию, координаты широты и долготы которой соответствуют поверхности земли (lat, lon).

В таблице атрибутов shp-файла по каждому отдельному линеаменту (в каждой отдельной строке) содержатся следующие заполненные пользователем поля (входные данные для расчета):

- Поле идентификационного номера линеаменты (LIN);
- Поле максимальной магнитуды (Mmax);
- Поля двух границ, указывающие интервал глубин в км. (h1, h2) в пределах которых моделируются очаги землетрясений;
- Поля стандартного отклонения азимута простирания очагов (dAZ) относительно азимута простирания линеаменты;
- Значение угла падения плоскости линеаменты (E);
- Значение стандартного отклонения угла падения (dE) очагов от (E) при розыгрыше каждого отдельного землетрясения;
- Поле с указанием идентификатора сеймотектонического субрегиона (Zona), к которому принадлежит данный линеамент.

В таблице ( Таблица 6) представлен пример атрибутов shp-файла для линеаменты.

Таблица 6 – Пример атрибутов shp-файла для линеаменты

LIN	Mmax	h1	h2	dAZ	E	dE	Zona
1	7.0	2	25	10	90	10	1
2	7.5	2	30	10	90	10	1
3	7.0	2	25	10	90	10	1
4	6.5	1	15	10	90	10	1
...	...	...	...	...	...	...	...
25	6.0	3	20	10	90	10	6

Также, для линеаментов отдельным \*.txt-файлом подгружается повторяемость (среднегодовая частота возникновения землетрясений) по отдельным сеймотектоническим субрегионам с шагом по магнитуде  $0.5 \pm 0.2$ . В таблице (Таблица 7) представлен пример заполнения входного файла, где первая строка соответствует названию региона, а первый столбец соответствует назначаемой магнитуде.

Таблица 7 – Пример .txt-файла повторяемости для отдельных сейсмических регионов

$M_{LN \pm 0.2}$	1	2	3	4	5	6
5	0	0	0	0	0.010254	0
5.5	0.018315	0.008541	0.005869	0.018315	0.008541	0.005962
6	0.007406	0.002795	0.002281	0.007300	0.003898	0.003281
6.5	0.002859	0.000873	0	0.002989	0.000846	0.009847
7	0.000808	0	0	0.000800	0	0
7.5	0.000135	0	0	0.000237	0	0
8	0	0	0	0.000053	0	0

Последними входными данными для начала расчета является \*.txt-файл рассматриваемых ОКС, содержащий:

- Географические координаты WGS-84 (lat, lon) центра площадки ОКС;
- Фактическая сейсмостойкость ОКС ( $S_f$ );
- Фактическая кадастровая стоимость ОКС (C).

В таблице (Таблица 8) представлен пример заполнения входного файла ОКС.

Таблица 8 – Пример \*.txt-файла рассматриваемых ОКС

lat	lon	$S_f$	C
52.249736	104.36169	6.5	200805.58
52.254737	104.32032	6.5	25324719.30
52.261053	104.31089	6.5	67174626.46
52.263973	104.30898	6.5	56271052.78
52.263973	104.30898	6.5	96141408.23
...	...	...	...
52.256477	104.32507	6.5	73328642.37

После импортирования всех входных данных начинается процедура расчета сейсмических воздействий. Процедура расчета состоит из следующих этапов:

- Преобразование зон ВОЗ в точечные источники;
- Генерация синтетического каталога по каждой зоне ВОЗ;
- Оценка воздействия от каждого модельного землетрясения для каждого ОКС.

### 3.4.3 Преобразование зон ВОЗ в точечные источники

В каждом домене выполняется построение сетки точек в пределах своего контура с заданным шагом между точками сетки. Каждая точка перенимает атрибуты входных данных своего домена. Для выполнения данной операции использовался программный код, представленный ниже. В нем выполнялись функции преобразования географических координат (широта, долгота) в координаты проекции (X, Y) относительно опорной точки – середины домена и функция обратного преобразования.

На рисунке ниже (Рисунок 19) представлен пример построения сетки точек с шагом в 5 км на основе доменов.

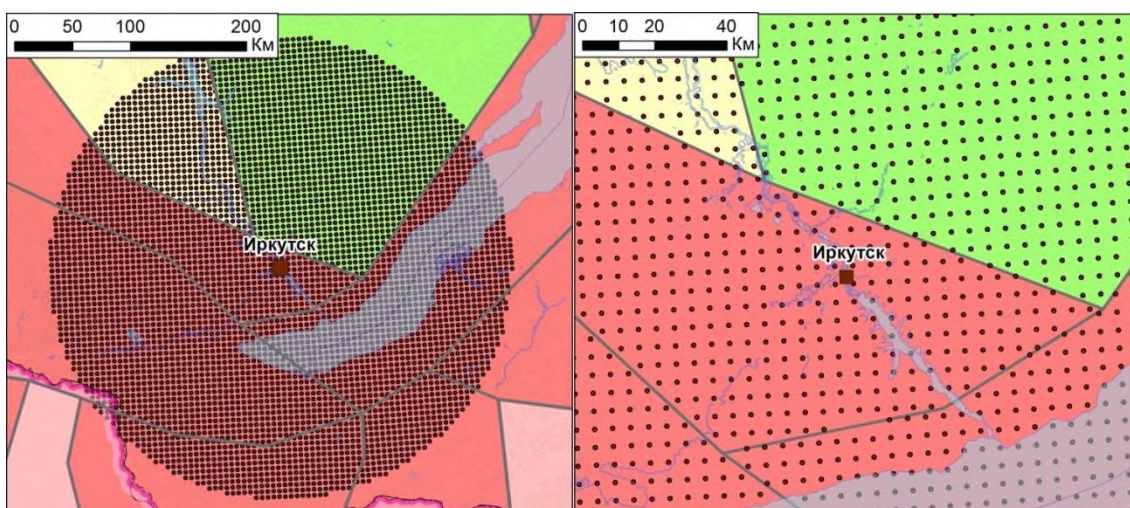


Рисунок 19 – Пример построения сетки точечных источников на основе доменов

Для каждого линеамента выполняется аналогичный переход к точечным источникам с заданным шагом между точками сетки в пределах

плоскости линеамента. Однако для каждой точки, помимо широты и долготы, вычисляется и глубина, которая определяется углом падения линеамента и азимутом между крайними точками его прямых сегментов. Также, каждая точка перенимает атрибуты входных данных своего линеамента. Атрибут азимута простирания очагов точки (AZ) рассчитывается исходя из соседних точек вдоль линеамента. Для выполнения данной операции использовался программный код. В нем выполнялись функция преобразования географических координат (широта, долгота) в координаты проекции (X, Y) относительно опорной точки – середины прямых сегментов линеамента и функция обратного преобразования, а также функции с использованием матриц поворота для определения глубины каждой точки сетки внутри линеамента.

На рисунке (Рисунок 20) показан пример построения 3D сетки точек с шагом в 5 км на основе линеаментов.

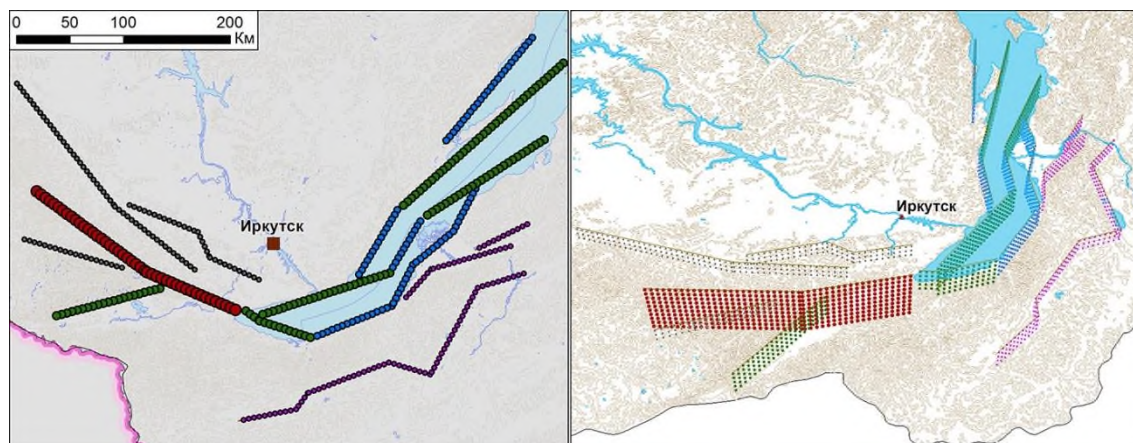


Рисунок 20 – Пример построения 3D сетки точек на основе линеаментов

#### 3.4.4 Моделирование синтетического каталога

Далее выполняется моделирование сейсмических событий по каждой зоне ВОЗ, таким образом, происходит генерация каталога землетрясений, который в дальнейшем используется в расчете сейсмических воздействий. Время генерации каталога землетрясений (в годах) задается пользователем.

Для каждого домена циклическим образом выполняется процедура генерации сейсмических событий по каждой отдельной магнитуде, заданной

пользователем. Для указанной магнитуды разыгрывается то количество землетрясений, которое соответствует произведению ее повторяемости в год на время розыгрыша каталога с учетом случайной поправки по нормальному закону распределения.

Для генерации каждого землетрясения выполняются следующие операции. Из сетки точек домена по равномерному закону случайным образом выбирается одна точка. Исходя из атрибутов точки вычисляются размеры ( $L$ ,  $W$ ), азимут простирания и угол падения очага с учетом поправки по равномерному закону распределения ( $AZ \pm \text{uniform}(dAZ)$ ,  $E \pm \text{uniform}(dE)$ ), глубина землетрясения ( $Z$ ) на основании заданных интервалов границ и соответствующих им весов. Также, вычисляются координаты ( $lat$ ,  $lon$ ) середины верхней кромки очага землетрясения, которые по равномерному закону могут смещаться в пределах половины значения шага по сетке точек домена, и рассчитывается относительное время возникновения землетрясения ( $T$ ).

Моделирование землетрясений для линеаментов проходит следующим образом. Для каждого сейсмического региона циклическим образом выполняется процедура генерации сейсмических событий по каждой отдельной магнитуде, заданной пользователем. Из сетки точек по всем линеаментам региона по равномерному закону случайным образом выбирается одна точка, с условием того, что максимальная магнитуда ( $M_{max}$ ) в атрибутах этой точки не превышает разыгрываемую.

Исходя из атрибутов точки вычисляются размеры ( $L$ ,  $W$ ), азимут простирания и угол падения очага с учетом поправки по нормальному закону распределения в пределах двух стандартных отклонений ( $AZ \pm 2 * \text{norm}(dAZ)$ ,  $E \pm 2 * \text{norm}(dE)$ ), глубина землетрясения ( $Z$ ) с учетом поправки по равномерному закону распределения в пределах половины значения шага по сетке в плоскости линеамента. Также, вычисляются координаты ( $lat$ ,  $lon$ ) середины верхней кромки очага землетрясения, которые по нормальному



закону распределения могут смещаться поперек плоскости линеамента и относительное время возникновения землетрясения (Т).

Данные каждого землетрясения заносятся в модельный каталог, который имеет следующие столбцы: номер домена (линеамента), магнитуда, длина, ширина, азимут, угол падения, координаты и глубина верхней кромки очага, относительное время землетрясения, название субрегиона.

Таблица 9 – Пример данных модельного каталога землетрясений

id	Mlh	L	W	AZ	E	lat	lon	Z	T	Zona
1	5.5	2.3831	2.3831	97.7432	139.8262	51.5935	103.6787	3.2377	3.1365	1
1	5.5	2.1552	2.1552	117.2754	134.9468	51.4442	104.3735	1.2637	166.6163	1
2	5.5	1.7489	1.7489	161.3390	92.2066	51.8959	101.9633	6.1627	327.8566	1
4	5.5	9.6173	6.8892	144.0334	99.7106	51.9760	103.0378	6.0662	459.9906	1
3	5.5	3.5236	3.5236	106.4600	39.3283	51.2580	104.5628	4.9585	622.2861	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	7.5	15.1314	8.1114	286.2573	152.4426	52.0227	100.9518	2.8552	743.5770	1

Далее, на основании данных модельного каталога землетрясений выполняется построение очагов в пространстве для каждого сейсмического события. В разработанных алгоритмах очаг представляет собой сетку точек с заданным шагом, которая заполняет все пространство в пределах области очага.

На рисунке (Рисунок 21) представлен пример построения 3D очагов землетрясений. В текстовом приложении представлен код генерации каталога землетрясений для доменов и для линеаментов и функция построения очагов в координатах проекции.

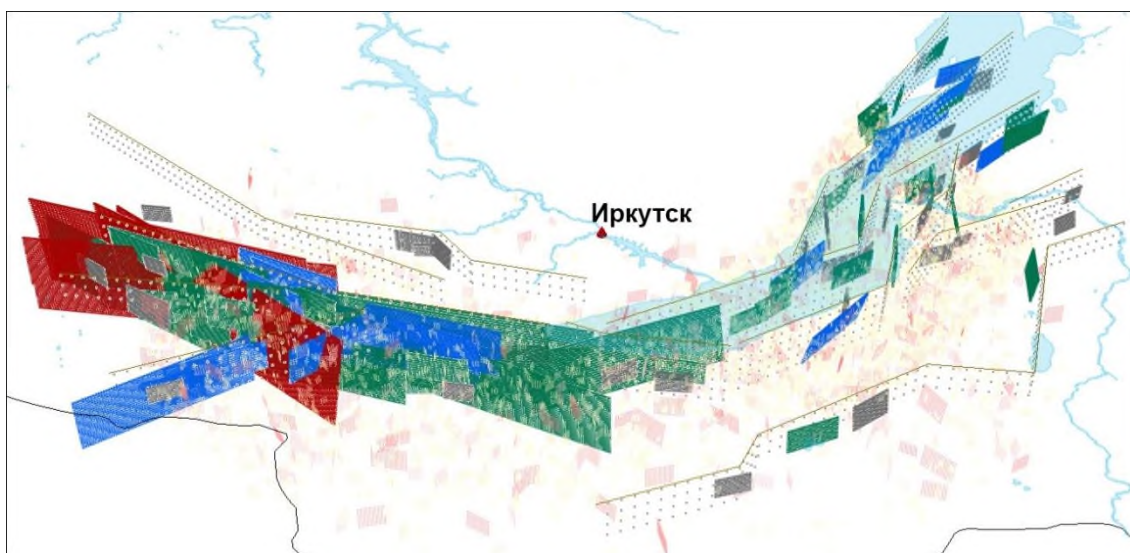


Рисунок 21 – Пример построения 3D очагов землетрясений синтезированного каталога за период 2000 лет

### 3.4.5 Расчет интенсивности единичного сейсмического события

Для расчета сейсмических воздействий использована модель протяженного очага, заложенная в методику ОСП-97(2015). Модельные очаги землетрясений (разрывы в земной коре), разыгрываемые в процессе расчетов в области зон ВОЗ, представляют из себя ограниченную плоскость квадратной или прямоугольной формы. Ориентация в пространстве, форма и размер очагов зависит от координат гипоцентра, азимута простирания, угла падения относительно поверхности земли, магнитуды (Рисунок 22). В расчетах входными магнитудами является магнитуда  $M_{LH}$ , которая в дальнейшем преобразуется в моментную магнитуду  $M_w$ .

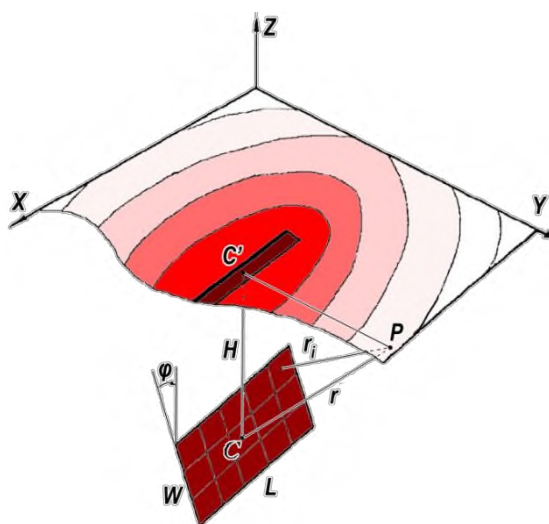


Рисунок 22 – Модель протяженного очага

Схема расчета интенсивности. С – гипоцентр, С' – эпицентр прямоугольного очага длины L и ширины W на глубине H, наклоненного под углом  $\varphi$ . Плоскость XY – дневная поверхность, P – точка наблюдения («приемник»), r – гипоцентральное расстояние,  $r_i$  – расстояние до i-ого субисточника, на которые разбит очаг. Прямоугольник на плоскости XY – проекция очага на дневную поверхность, утолщенная сторона – проекция верхней кромки очага. Кривые на плоскости XY – изосейсты от данного очага.

Зависимость размера очага от магнитуды определяется следующим образом. Площадь очага (S) в  $\text{км}^2$  рассчитывается исходя из значения

моментной магнитуды  $M_W$  землетрясения по соотношению  $M_W = \lg S + CMS$ , где  $CMS$  – коэффициент, принятый равным 3.11. Для разных  $M_W$  отношение длины к ширине очага ( $L/W$ ) различны, и меняются от единицы при  $M_W=5,5$  до четырех при  $M_W=8$  (Таблица 10).

Таблица 10 – Осредненные пространственные параметры очага в зависимости от магнитуды

$M_{LH}$	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
L, км	1	2	3	5	9	16	28	47	92	180
W, км	1	2	3	5	6	8	12	17	27	45

Далее рассчитывается сейсмическое воздействие (интенсивность) от каждого модельного очага землетрясения для всех точек координат рассматриваемых ОКС. Интенсивность  $I$  в точке на удалении  $r$  от центра прямоугольного очага размером  $L$  на  $W$  и с магнитудой  $M_W$ , состоящего из  $N$  элементарных точек очага (субисточников), определяется по формуле:

$$I = IB + CM (MW - MWБ) + CA \{ \lg[(1/N) \sum_i^N \Phi(r_i)] - \lg[(1/NБ) \sum_j^N \Phi(r_jБ)] \} \quad (2)$$

где  $r_i$  ( $r_jБ$ ) – расстояние от  $i$ -того ( $j$ -того) субисточника очага (базового очага) до точки, в которой вычисляется  $I$  ( $IB$ );

$\Phi(r)$  – функция, моделирующая затухание.

$$\Phi(r) = \begin{cases} g(r, n1, rQ1), r < r_c \\ g(r, n2, rQ2), r > r_c \end{cases}$$

$rQ = c Q(f1)/2\pi f1$ , где  $c$  – скорость и  $f1$  – средняя частота S-волн,  $Q$  – добротность среды.

$CA$  – коэффициент, характеризующий связь балла с интенсивностью по Ариасу;

$CM$  – коэффициент, характеризующий связь балла с моментной магнитудой;

$n1$  – показатель степени расхождения волн в среде при  $r < r_c$ ;

$r_{Q1}$  – расстояние, на котором энергия поглощается средой в  $e$  раз, при  $r < r_c$ ;

$n_2$  – показатель степени расхождения волн в среде при  $r > r_c$ ;

$r_{Q2}$  – расстояние, на котором энергия поглощается средой в  $e$  раз, при  $r > r_c$ ;

$r_c$  – расстояние переключения функции затухания с 1-ого типа ( $n_1$ ) на 2-ой ( $n_2$ );

ИБ – балл от базового очага с магнитудой  $M_{WB}$  на расстоянии  $r_B$  от его центра по нормали.

Параметры модели для материковой части Северной Евразии, заложенные в методику ОСР-97/2016:  $CA=1,667$ ;  $CM=1,85$ ;  $n_1=1$ ;  $n_2=0,5$ ;  $r_{Q1}=r_{Q2}=100$  км;  $r_c=70$  км;  $ИБ= I(MW=6,23 (MLH=6), r_B=50 \text{ км})=6,05$  балла.

### **3.5 Оценка дефицита сейсмостойкости ОКС по экспресс методике**

Дефицит сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства определяется в баллах исходя из параметров сейсмостойкости объектов.

Параметрами, определяющими дефицит сейсмостойкости строительных конструкций зданий и сооружений ( $S_i$ ) являются:

$S_1$  – «живучесть» системы, определяемая его способностью к значительным перемещениям и неупругим деформациям без обрушения (коллапса), создающего прямую опасность для людей;

$S_2$  – соответствие объемно-планировочных и конструктивных решений;

$S_3$  – соответствие ОКС по критериям требований современных норм.

Влияние отдельного фактора на общий дефицит сейсмостойкости здания определяется:

$$S_d = \sum_{i=1}^3 \alpha_i S_i \quad (3)$$

где

$\alpha_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го фактора по влиянию на общую сейсмостойкость конструкции;

$S_i$  – выраженная в долях единицы степень соответствия данного фактора для рассматриваемого сооружения.

Рекомендуемые величины  $\alpha$ , представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Весовые коэффициенты  $\alpha_i$

Фактор	$\alpha_i$	Значение, безразмерная величина
1	$\alpha_1$	0,3
2	$\alpha_2$	0,25
3	$\alpha_3$	0,45

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  определяющие дефицит сейсмостойкости строительных конструкций зданий и сооружений ( $S_i$ ) приняты по результатам оценки последствий землетрясений, в соответствии с результатами выполненных исследований [5, 6, 55], а также на основании опыта исследования зданий и сооружений, поврежденных в результате прошедших землетрясений.

Весовые коэффициенты определяются по результатам статистического анализа последствий сильных землетрясений. Так в работах [9;11] определено, что наибольший вклад в дефицит сейсмостойкости вносит критерий расчетного анализа применительно к требованиям норм. Повреждения зданий и сооружений в результате землетрясений в половине случаев происходили в результате отступления от нормативных требований, а также в связи с несовершенством ранних редакций норм.

Другими важными факторами явились материалы несущих конструкций, а также объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений.

Так по результатам анализа землетрясения в Алжире 1980 было выявлено, что здания с железобетонным каркасом с высоким классом живучести получили критические повреждения и были разрушены в связи с их проектированием на нагрузки более низкого уровня. При этом, здания, запроектированные на сейсмические нагрузки, соответствующие фактической сейсмичности, но имеющие неправильную в плане форму получили трещины в несущем каркасе и узлах соединения ригелей со стойками каркаса у фундамента и в стыках связанных стен, а также повреждения защитного слоя бетона, изгиб стержневой арматуры.

При землетрясении в Италии (Сан Анжело Ден Ломбарди) 1980 г. здание с ненадлежащим уровнем соблюдения норм антисейсмического проектирования (нерегулярных решений в плане и кирпичное заполнение не были отделено от несущего железобетонного каркаса), получило значительные повреждения ненесущих элементов.

### **3.5.1 Оценка по параметру $S_1$ – «живучесть»**

Исходными данными служит параметр 3.2.4 «Материал стен ОКС».

Эмпирическим путем, на основании анализа прошедших землетрясений, данному критерию оценки сейсмостойкости присвоено численное значение весового коэффициента  $\alpha_1$  равное 0,30.

Оценка дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений по критерию  $S_1$  (фактическая «живучесть») определяется по результатам анализа последствий землетрясений, а также экспериментальных исследований и присвоением класса уязвимости. Опыт рассмотрения последствий землетрясений в различных странах показывает, что живучесть объекта при сейсмическом воздействии в немалой степени зависит от класса уязвимости, который обусловлен материалами несущих конструкций, объемно-планировочными и конструктивными решениями, принятыми при проектировании ОКС. Также данные по уязвимости можно получить на основании рассмотрения повреждений в несущих конструкциях,

возникающих в ходе натуральных или модельных экспериментальных исследований.

Для классификации конструктивных типов зданий по классу уязвимости принята гармонизированная с европейскими нормами шкала, которая классифицирует здания по 6 классам (Рисунок 23) [9].

Гармонизация проведена по данным о повреждениях, полученных ОКС различного класса уязвимости.

Тип конструкций		Класс уязвимости					
		A	B	C	D	E	F
КАМЕННАЯ ИЛИ КИРПИЧНАЯ КЛАДКА	Камень бутовый или окатанный	○					
	Саман (кирпич-сырец)	○—					
	Камень тесаный	—○					
	Камень массивный		—○—				
	Неармированная кладка из обработанных каменных блоков	—○—					
	Неармированная кирпичная кладка с ЖБ перекрытиями		—○—				
	Армированная или обрамленная кирпичная кладка			—○—			
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ (ЖБ)	Каркасные безпроектных антисейсмических мероприятий (ПАМ)	—○—					
	Каркасные со средним уровнем ПАМ		—○—				
	Каркасные с высоким уровнем ПАМ			—○—			
	С несущими стенами без ПАМ	—○—					
	С несущими стенами и средним уровнем ПАМ		—○—				
	С несущими стенами и высоким уровнем ПАМ			—○—			
СТАЛЬНЫЕ				—○—			
ДЕРЕВЯННЫЕ			—○—				

Рисунок 23 – 6 классов уязвимости шкалы гармонизированной с EMS-98 [56]

Классы уязвимости – А, В, С, D, E, F, расположены в порядке их увеличения по уровню сейсмостойкости, где А – «большая уязвимость», а F –



«гарантированная надежность». Классы зависят от типа конструктивной схемы здания и используемых материалов.

Первые три класса (А, В, С) отражают прочность «типового» глинобитного строения, кирпичного здания и железобетонной (ЖБ) конструкции.

Классы D и E предназначены для представления линейного снижения уязвимости в результате повышенного уровня сейсмостойкости конструкции, а также предусматривают хорошо построенные деревянные, усиленные или закрытые каменные и стальные конструкции, которые известны своей устойчивостью к землетрясениям.

Класс F предназначен для представления уязвимости конструкции с высоким уровнем сейсмостойкости конструкции, то есть конструкции с наивысшей сейсмостойкостью благодаря внедренным принципам проектирования и использованных материалов.

### **Камень бутовый или окатанный**

Это традиционные конструкции, в которых необработанные камни используются в качестве основного строительного материала, обычно с некачественным раствором, что приводит к тяжелым зданиям и малому сопротивлению боковым нагрузкам. Полы обычно деревянные и не имеют горизонтальной жесткости.

### **Саман (кирпич-сырец)**

Этот тип конструкции можно найти во многих местах, где можно найти подходящую глину. Методы глинобитного строительства сильно различаются, и это вносит некоторые различия в прочность глинобитных домов. Стены, сложенные из слоев самана без применения кирпича, жесткие и непрочные. Кирпичные дома могут работать лучше в зависимости от качества раствора и, в меньшей степени, от качества кирпича. Вес крыши является одним из наиболее важных факторов в эксплуатации таких домов так как тяжелая крыша является слабым местом подобных конструкций. Глинобитные дома с деревянным каркасом обладают дополнительной

прочностью и значительно лучше воспринимают нагрузки чем дома со стеновой конструктивной системой. В таких зданиях стены могут быть относительно легко повреждены, а деревянный каркас остается неповрежденным из-за его более высокой пластичности и диссипативности. Встречаются также случаи, когда в глинобитных домах используются несвязанные деревянные балки и колонны; они обеспечивают дополнительную горизонтальную жесткость и, следовательно, улучшают производительность, но не так сильно, как связевая рама.

Также к этому классу относятся конструкции, известные как «мазанка», когда деревянный каркас заполнен рейками, покрытыми глиной, похож на глинобитную/деревянную конструкцию.

### **Камень тесаный**

Простая каменная конструкция отличается от постройки из полевого камня тем, что строительные камни перед использованием подвергались некоторой обработке. Эти тесаные камни укладываются в конструкцию здания по некоторым приемам для повышения прочности конструкции, например, используя более крупные камни, чтобы связать стены по углам. В обычном случае такие здания относятся к классу уязвимости В и к классу А, если они находятся в плохом состоянии или построены с низким качеством производства работ или использованных материалов.

### **Камень массивный**

Здания из очень крупных камней обычно ограничиваются монументальными сооружениями, замками, крупными общественными зданиями и т. д. Специальные здания этого типа, такие как соборы или замки, обычно не используются для оценки интенсивности. Эти постройки обычно обладают большой прочностью, что способствует их хорошему классу уязвимости.

### **Неармированные кирпичные/бетонные блоки**

Этот очень распространенный тип конструкции, также такая конструкция упоминается под названием «изделия из искусственного

камня». Сама его распространенность означает, что часто можно встретить экземпляры в таком плохом состоянии, что они будут считаться только классом А. Менее распространены примеры настолько хорошей постройки, чтобы их можно было отнести к классу С, но это может иметь место для больших домов, построенных в соответствии с высокими стандартами и в местах, где необходимо сопротивление большой ветровой нагрузке. Для этого типа зданий характерно отсутствие специальных попыток улучшить горизонтальные элементы конструкции, полы, как правило, деревянные и, следовательно, гибкие.

В целом на уязвимость влияет количество, размер и положение отверстий. Большие проемы, небольшие простенки между проемами и клиньями, а также длинные стены без перпендикулярных ребер жесткости делают здание более уязвимым. Одной из проблем, на которую следует обратить внимание, является использование систем полых стен с внутренней и внешней обшивкой, которые, если они не соединены должным образом, могут создавать очень слабые стены с недостаточной сейсмостойкостью.

### **Неармированный кирпич с ж/б включениями**

Хотя стены здания являются наиболее очевидной его частью для наблюдателя, на самом деле горизонтальные элементы могут быть более важными при определении сопротивления конструкции. Следовательно, тип конструкции, в которой стены из неармированного кирпича, а полы из железобетона, будет вести себя значительно лучше, чем обычная кирпичная конструкция. Там, где стены соединены и связаны между собой жесткой плитой перекрытия с балками армопояса, создается коробчатая система, которая эффективно снижает риск обрушения стен или разделения и смещения пересекающихся перпендикулярных стен. Эти улучшенные характеристики будут реализованы только в случае, если железобетонное перекрытие правильно соединено с конструкцией, что не всегда так. Там, где структура хорошо связана, уязвимость, скорее всего, относится к классу С; там, где структура связана недостаточно - класса В.

### **Армированная или обрамленная кирпичная кладка**

Под этим видом конструкций подразумевают различные системы, в которых были предприняты мероприятия для улучшения характеристик и пластичности каменной кладки. В армированной кладке стержни или стальная сетка заделываются (в раствор или цементный раствор) в отверстия или между слоями кладочных кирпичей, создавая композитный материал, действующий как высокопрочная и пластичная стена или стеновая система. Такое армирование будет присутствовать как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Обрамленная кладка характеризуется каменной кладкой, жестко построенной между несущими колоннами и балками со всех четырех сторон и обеспечивающей аналогичный уровень сопротивления. В таких случаях не предполагается, что соединительные элементы должны работать как устойчивый к моменту каркас, тогда как кирпичная кладка в большинстве случаев будет действовать только как неструктурное заполнение. В некоторых регионах разработаны специальные каменные системы, в которых фигурные (например, замковые) строительные камни формируются из бетона; они также работают очень хорошо. Другая эффективная система известна как цементная кладка, состоящая из стен, состоящих из внешней и внутренней кирпичной оболочки, соединенных с бетонным ядром, армированным по вертикали и горизонтали. В этом случае могут возникнуть проблемы при слабом соединении или неправильном соединении оболочек. Общие характеристики таких систем также должны быть эквивалентны армированной кладке, хотя опыт использования этой формы конструкции в настоящее время ограничен.

### **Железобетонные конструкции**

Этот тип конструкции, столь распространенный в современных городах, сильно различается по внешнему виду, принципу взаимодействия несущих конструкций, что затрудняет предоставление простого руководства

о том, как обращаться с такими конструкциями. В таблице уязвимости сделано разделение по уровню сейсмостойкости конструкции.

### **Стальные конструкции**

Строительство металлоконструкций в сейсмических районах является идеальным решением в плане соблюдения всех норм безопасности. Чтобы металлоконструкции здания оставались максимально прочными во время сейсмической активности, проектирование должно вестись в соответствии с требованиями нормативных актов по обеспечению прочности и надежности.

### **Деревянные конструкции**

Деревянные конструкции обладают повышенной сейсмостойкостью в сравнении с такими же конструкциями из камня, бетона, железобетона. Отличительной особенностью деревянных конструкций является податливость их соединений. Именно она определяет способность этих конструкций поглощая сейсмические воздействия, надежно работать во время землетрясений.

### **Группирование диагностических признаков**

Группирование диагностических признаков приводится на основании шкал EMS-98 и MSK-64 для следующих категорий:

- а) воздействия на людей;
- б) воздействия на объекты и окружающую среду;
- в) повреждения зданий.

#### **Неощутимое землетрясение**

- а) Не ощущается даже при наиболее благоприятных обстоятельствах.
- б) Отсутствие эффекта.
- в) Отсутствие повреждений.

#### **Едва ощутимое**

- а) Сотрясение ощущается лишь отдельными (менее 1%) индивидуумами, находящимися в помещениях в покое и в особо чувствительных положениях.
- б) Отсутствие эффекта.

в) Отсутствие повреждений.

Слабое

а) Землетрясение ощущается немногими людьми в помещениях. Люди в покое ощущают покачивание или легкое дрожание.

б) Висящие предметы слегка раскачиваются.

в) Отсутствие повреждений.

Широко наблюдаемое

а) Землетрясение ощущается многими людьми в помещениях и лишь немногими вне помещений. Некоторые спавшие люди просыпаются. Сотрясения умеренные, не пугающие. Ощущается небольшое дрожание или раскачивание всего здания, комнаты или кровати, стула и т.д.

б) Дребезжат посуда, стекла, двери. Висячие предметы раскачиваются. В некоторых случаях легкая мебель отчетливо качается, изделия из дерева скрипят.

в) Отсутствие повреждений.

Сильное

а) Землетрясение ощущается большинством людей в помещениях и немногими вне помещений. Некоторые люди испуганы и выбегают из помещений. Многие спавшие люди просыпаются. Ощущаются сильные колебания или раскачивание всего здания, комнаты или мебели.

б) Висящие предметы сильно раскачиваются. Дребезжит посуда. Мелкие, с тяжелой верхней частью и/или плохо закрепленные предметы могут быть сдвинуты или упасть. Двери и окна распахиваются или захлопываются. В некоторых случаях разбиваются оконные стекла. Жидкость колеблется и может выплеснуться из наполненной емкости. Животные в помещениях могут проявлять беспокойство.

в) В некоторых зданиях уязвимостью классов А и В повреждения 1-й степени.

С легкими повреждениями

а) Ощущается большинством людей в помещениях и многими вне помещений. Некоторые люди теряют равновесие; многие испуганы и выбегают из помещений.

б) Мелкие предметы обычной устойчивости могут падать, а мебель сдвигаться. В некоторых случаях тарелки и стеклянная посуда могут разбиться. Домашние животные (даже вне помещений) могут быть испуганы.

в) Во многих зданиях уязвимостью классов А и В повреждения 1-й степени, в некоторых – 2-й степени. В некоторых зданиях уязвимостью класса С повреждения 1-й степени.

С повреждениями

а) Большинство людей испуганы и выбегают из помещений; многим с трудом удастся стоять на ногах, особенно на верхних этажах.

б) Мебель сдвинута, а мебель с тяжелой верхней частью может быть опрокинута. Предметы падают с полок в больших количествах. Вода выплескивается из емкостей, резервуаров и бассейнов.

в) Во многих зданиях уязвимостью класса А повреждения 3-й степени, в некоторых – 4-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса В повреждения 2-й степени, в некоторых – 3-й степени.

В некоторых зданиях уязвимостью класса С повреждения 2-й степени.

В некоторых зданиях уязвимостью класса D повреждения 1-й степени.

С тяжелыми повреждениями

а) Многие люди с трудом удерживаются на ногах, даже вне помещений.

б) Мебель может быть опрокинута. Такие предметы, как телевизоры, пишущие машинки и т.д., падают на пол. Надгробные плиты могут иногда сдвигаться, наклоняться или опрокидываться. На очень мягких грунтах могут быть замечены волны.

в) Во многих зданиях уязвимостью класса А повреждения 4-й степени, в некоторых – 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса В повреждения 3-й степени, в некоторых – 4-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса С повреждения 2-й степени, в некоторых – 3-й степени.

В некоторых зданиях уязвимостью класса D повреждения 2-й степени.

Разрушительное

а) Общая паника. Люди могут быть сбиты с ног.

б) Многие памятники и колонны падают или наклоняются. На мягких грунтах видны волны.

в) Во многих зданиях уязвимостью класса А повреждения 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса В повреждения 4-й степени, в некоторых – 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса С повреждения 3-й степени, в некоторых – 4-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса D повреждения 2-й степени, в некоторых – 3-й степени.

В некоторых зданиях уязвимостью класса Е повреждения 2-й степени.

Очень разрушительное

в) В большинстве зданий уязвимостью класса А повреждения 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса В повреждения 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса С повреждения 4-й степени, в некоторых – 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса D повреждения 3-й степени, в некоторых – 4-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса Е повреждения 2-й степени, в некоторых – 3-й степени.

В некоторых зданиях уязвимостью класса F повреждения 2-й степени.

Опустошительное



в) В большинстве зданий уязвимостью класса В повреждения 5-й степени.

В большинстве зданий уязвимостью класса С повреждения 4-й степени, во многих – 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса D повреждения 4-й степени, в некоторых – 5-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса E повреждения 3-й степени, в некоторых – 4-й степени.

Во многих зданиях уязвимостью класса F повреждения 2-й степени, в некоторых – 3-й степени.

#### Полностью опустошительное

в) Все здания уязвимостью классов А, В и практически все здания уязвимостью класса С разрушены. Большинство зданий уязвимостью классов D, E и F разрушены. Воздействие землетрясения достигло максимально возможных эффектов.

Классификация повреждений ОКС с каменными; кирпичными и железобетонными стенами наглядно приведена в таблицах 18-21.

В таблице 12 приведена шкала классов уязвимости, построенная на основании гармонизированной шкалы (Рисунок 23). Шкала, приведенная в таблице 12, является модифицированной в соответствии с исходными данными и параметрами, принятыми в настоящей методике. Исходная шкала приведена в Отчете о научно-исследовательской работе [64], выполненной в рамках федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009-2013 годы».

Таблица 12 – Классы уязвимости

	Здания с несущими стенами из:	Вероятный класс уязвимости					
		A	B	C	D	E	F

1	Стальной каркас						○
2	Железобетонный каркас:-рамно-связевый, (с железобетонными диафрагмами, ядрами жесткости или стальными связями)						○
3	Железобетонный каркас:- рамный без заполнения			┤	○	┤	
4	Стены из монолитного железобетона			┤	—	○	┤
5	Крупнопанельные железобетонные стены			┤	—	○	┤
6	Бетонные стены, крупноблочные стены			┤	○	┤	
7	Стены из мелких бетонных блоков			┤	○	┤	
8	Стены из керамических кирпичей и камней			┤	○	┤	
9	Стены из природных материалов			┤	○	┤	
10	Деревянные			┤	○	┤	
11	Из прочих материалов	○					

*Условные обозначения:*

- наиболее вероятный класс уязвимости
- вероятный диапазон уязвимости
- маловероятный диапазон уязвимости (редкий случай)

Класс уязвимости присваивается в зависимости от параметра «Материал стен ОКС» (раздел 3.2.4). В рамках настоящей методики при выборе класса уязвимости ОКС необходимо ориентироваться только на наиболее вероятный класс уязвимости, игнорируя вероятные диапазоны.

Действующими нормативными документами [52] и [8] уровень «живучести» конструкции определяется косвенно, как допускаемое предельное состояние, при котором возможны локальные повреждения и трещины, остаточные деформации, затрудняющие нормальную эксплуатацию, но гарантирующие безопасность людей и ценного оборудования.

Методические рекомендации по анализу последствий землетрясений [65] устанавливают уровни технического состояния конструкций зданий, соответствующие степени повреждения ОКС в результате землетрясения.

Предлагаемая экспресс методика предполагает, что все ОКС с одинаковыми признаками получают идентичные повреждения. При этом следует учитывать, что в зданиях и сооружениях возможны массовые скрытые повреждения, которые окажут серьезное влияние на возможный потенциальный ущерб.

На основании вышеизложенного, а также по результатам анализа последствий прошедших землетрясений и данных экспериментальных исследований статистически обобщаются категории дефицита сейсмостойкости различных типов зданий и сооружений по критерию  $S_1$  - «живучесть» в соответствии с характерными признаками конструктивных характеристик.

Категории зданий по дефициту сейсмостойкости устанавливаются из эмпирического предположения на базе опыта обследования зданий подверженных землетрясениям, что в целом каркасные системы при отсутствии или недостаточном количестве диафрагм жесткости по показателю  $S_1$  имеют больший дефицит сейсмостойкости, чем крупнопанельные, монолитные и деревянные.

Наибольшим дефицитом сейсмостойкости обладают здания, построенные из местных материалов без учета антисейсмических мероприятий. Наибольшей живучестью обладают правильно запроектированные крупнопанельные и монолитные здания, сооружения с

использованием сейсмоизоляции, адаптивных систем сейсмозащиты, с демпферами гистерезисного, сухого или (и) вязкого трения.

В программном модуле класс уязвимости присваивается конкретному объекту из базы данных на основании строки «Материал стен ОКС» таблицы 13 по следующему алгоритму.

Таблица 13 – Таблица материалов ОКС

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
1	Металлические	стальные	1
2	Железобетонные	железобетонные	2
3	Каркасно-панельные	железобетонные	2
4	Из железобетонных сегментов	железобетонные	3
5	Из унифицированных железобетонных элементов	железобетонные	3
6	Железобетонные, монолитные	железобетонные	4
7	Монолитные	железобетонные	4
8	Монолитные, из мелких бетонных блоков	железобетонные	4
9	Монолитные, из мелких бетонных блоков, железобетонные	железобетонные	4
10	Железобетонные, крупнопанельные	железобетонные	5
11	Крупнопанельные	железобетонные	5
12	Крупнопанельные, крупноблочные	железобетонные	5
13	Бетонные.	бетонные	6
14	Бетонные, железобетонное	бетонные	6
15	Бетонные, из мелко бетонных блоков	бетонные	6
16	Бетонные, металлические	бетонные	6
17	Бетонные, монолитные	бетонные	6
18	Крупноблочные	бетонные	6
19	Из легкобетонных панелей	бетонные	6

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
20	Из легкобетонных панелей, из прочих материалов, из мелких бетонных блоков	бетонные	7
21	Из мелких бетонных блоков	бетонные	7
22	Из мелких бетонных блоков железобетонные	бетонные	7
23	Шлакобетонные	бетонные	7
24	Шлакобетонные,шлакобетонные	бетонные	7
25	Кирпичные	кирпичные	8
26	Кирпичные облегченные	кирпичные	8
27	Кирпичные, бетонные	кирпичные	8
28	Кирпичные, бетонные, из мелких бетонных блоков	кирпичные	8
29	Кирпичные, бетонные, каменные и деревянные	кирпичные	8
30	Кирпичные, бетонные, смешанные	кирпичные	8
31	Кирпичные, деревянный каркас без обшивки	кирпичные	8
32	Кирпичные, дощатые	кирпичные	8
33	Кирпичные, железобетонные	кирпичные	8
34	Кирпичные, железобетонные, монолитные	кирпичные	8
35	Кирпичные, из легких панелей	кирпичные	8
36	Кирпичные, из мелких бетонных блоков	кирпичные	8
37	Кирпичные, из мелких бетонных блоков, железобетонные, монолитные	кирпичные	8
38	Кирпичные, из прочих материалов	кирпичные	8
39	Кирпичные, каменные и деревянные	кирпичные	8
40	Кирпичные, каркасно-засыпные	кирпичные	8
41	Кирпичные, каркасно-обшивные	кирпичные	8
42	Кирпичные, кирпичные	кирпичные	8
43	Кирпичные, крупноблочные	кирпичные	8
44	Кирпичные, крупнопанельные	кирпичные	8
45	Кирпичные, легкие из местных	кирпичные	8

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
	материалов		
46	Кирпичные, металлические	кирпичные	8
47	Кирпичные, рубленые	кирпичные	8
48	Кирпичные, рубленые, бетонные	кирпичные	8
49	Кирпичные, рубленые, дощатые	кирпичные	8
50	Кирпичные, рубленые, из мелких бетонных блоков	кирпичные	8
51	Кирпичные, рубленые, каменные и деревянные	кирпичные	8
52	Кирпичные, рубленые, каркасно-засыпные	кирпичные	8
53	Кирпичные, рубленые, каркасно-обшивные	кирпичные	8
54	Кирпичные, рубленые, смешанные	кирпичные	8
55	Кирпичные шлакобетонные	кирпичные	8
56	Из природного камня	каменные	9
57	Каменные	каменные	9
58	Каменные и бетонные	каменные	9
59	Каменные и бетонные, крупнопанельные	каменные	9
60	Каменные и деревянные	каменные	9
61	Каменные и деревянные, металлические	каменные	9
62	Каменные, бетонные	каменные	9
63	Каменные, железобетонные	каменные	9
64	Каменные, из мелких бетонных блоков	каменные	9
65	Каменные, металлические	каменные	9
66	Каменные, каркасно-обшивные	каменные	9
67	Каменные, кирпичные	каменные	9
68	Каменные, кирпичные, из мелких бетонных блоков	каменные	9
69	Каменные, металлические	каменные	9
70	Каменные, рубленые	каменные	9

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
71	Деревянные	деревянные	10
72	Деревянные, бетонные	деревянные	10
73	Деревянные, деревянные	деревянные	10
74	Деревянные, дощатые	деревянные	10
75	Деревянные, железобетонные	деревянные	10
76	Деревянные, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
77	Деревянные, из природного камня	деревянные	10
78	Деревянные, из прочих материалов	деревянные	10
79	Деревянные, из прочих материалов, дощатые	деревянные	10
80	Деревянные, из прочих материалов, шлакобетонные	деревянные	10
81	Деревянные, каменные	деревянные	10
82	Деревянные, каменные и бетонные	деревянные	10
83	Деревянные, каменные и деревянные	деревянные	10
84	Деревянные, каменные, бетонные	деревянные	10
85	Деревянные, каркасно-засыпные	деревянные	10
86	Деревянные, каркасно-обшивные	деревянные	10
87	Деревянные, каркасно-обшивные, бетонные	деревянные	10
88	Деревянные, кирпичные	деревянные	10
89	Деревянные, кирпичные, бетонные	деревянные	10
90	Деревянные, кирпичные, железобетонные	деревянные	10
91	Деревянные, кирпичные, из прочих материалов	деревянные	10
92	Деревянные, кирпичные, монолитные	деревянные	10
93	Деревянные, кирпичные, рубленные	деревянные	10
94	Деревянные, кирпичные, рубленные, бетонные	деревянные	10
95	Деревянные, кирпичные, шлакобетонные	деревянные	10
96	Деревянные, крупнопанельные	деревянные	10

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
97	Деревянные, легкие из местных материалов, дощатые	деревянные	10
98	Деревянные, металлические	деревянные	10
99	Деревянные, рубленые	деревянные	10
100	Деревянные, рубленые, бетонные	деревянные	10
101	Деревянные, рубленые, железобетонные	деревянные	10
102	Деревянные, рубленые, железобетонные, крупнопанельные	деревянные	10
103	Деревянные, рубленые, из прочих материалов	деревянные	10
104	Деревянные, рубленые, из прочих материалов, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
105	Деревянные, рубленые, каркасно-засыпные	деревянные	10
106	Деревянные, рубленые, каркасно-обшивные	деревянные	10
107	Деревянные, рубленые, каркасно-обшивные, бетонные, монолитные	деревянные	10
108	Деревянные, рубленые, рубленые	деревянные	10
109	Деревянные, рубленые, шлакобетонные	деревянные	10
110	Деревянные, сборно-щитовые	деревянные	10
111	Деревянные, смешанные	деревянные	10
112	Деревянные, шлемообразные	деревянные	10
113	Деревянный каркас без обшивки	деревянные	10
114	Дощатые	деревянные	10
115	Дощатые, шлакобетонные	деревянные	10
116	Каркасно-засыпные	деревянные	10
117	Каркасно-засыпные, бетонные	деревянные	10
118	Каркасно-засыпные, дощатые	деревянные	10
119	Каркасно-засыпные, из прочих материалов	деревянные	10
120	Каркасно-засыпные, каменные и деревянные	деревянные	10
121	Каркасно-засыпные, каркасно-обшивные	деревянные	10



<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
122	Каркасно-засыпные, сборно-щитовые	деревянные	10
123	Каркасно-засыпные, шлакобетонные	деревянные	10
124	Каркасно-обшивные	деревянные	10
125	Каркасно-обшивные, бетонные	деревянные	10
126	Каркасно-обшивные, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
127	Каркасно-обшивные, шлакобетонные	деревянные	10
128	Рубленые	деревянные	10
129	Рубленые, бетонные	деревянные	10
130	Рубленые, бетонные, деревянный каркас без обшивки	деревянные	10
131	Рубленые, бетонные, дощатые	деревянные	10
132	Рубленые, деревянный каркас без обшивки	деревянные	10
133	Рубленые, дощатые	деревянные	10
134	Рубленые, дощатые, железобетонный	деревянные	10
135	Рубленые, дощатые, шлакобетонный	деревянные	10
136	Рубленые, железобетонные	деревянные	10
137	Рубленые, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
138	Рубленые, из мелких бетонных блоков, железобетонные	деревянные	10
139	Рубленые, из прочих материалов	деревянные	10
140	Рубленые, из прочих материалов, крупнопанельные	деревянные	10
141	Рубленые, каменные и бетонные	деревянные	10
142	Рубленые, каменные и бетонные, шлакобетонные	деревянные	10
143	Рубленые, каменные и деревянные	деревянные	10
144	Рубленые, каркасно-засыпные	деревянные	10
145	Рубленые, каркасно-обшивные	деревянные	10
146	Рубленые, каркасно-обшивные, из прочих материалов	деревянные	10
147	Рубленые, каркасно-обшивные, легкие из местных материалов	деревянные	10

<b>№ п.п</b>	<b>Материалы</b>	<b>Материал стен ОКС из раздела 3.2.4</b>	<b>№ строки в таблицах 12 и 15</b>
148	Рубленые, крупноблочные	деревянные	10
149	Рубленые, крупнопанельные	деревянные	10
150	Рубленые, легкие из местных материалов	деревянные	10
151	Рубленые, легкие из местных материалов, бетонные, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
152	Рубленые, легкие из местных материалов, деревянный каркас без обшивки	деревянные	10
153	Рубленые, монолитные	деревянные	10
154	Рубленые, рубленые	деревянные	10
155	Рубленые, рубленые, дощатые	деревянные	10
156	Рубленые, рубленые, из мелких бетонных блоков	деревянные	10
157	Рубленые, рубленые, рубленые	деревянные	10
158	Рубленые, сборно-щитовые	деревянные	10
159	Рубленые, смешанные	деревянные	10
160	Рубленые, шлакобетонные	деревянные	10
161	Сборно-щитовые	деревянные	10
162	Сборно-щитовые, смешанные	деревянные	10
163	Из прочих материалов	из прочих материалов	11
164	Из прочих материалов, бетонные	из прочих материалов	11
165	Из прочих материалов, дощатые	из прочих материалов	11
166	Из прочих материалов, железобетонные	из прочих материалов	11
167	Из прочих материалов, из мелких бетонных блоков	из прочих материалов	11
168	Из прочих материалов, каменные и деревянные	из прочих материалов	11
169	Из прочих материалов, крупнопанельные	из прочих материалов	11
170	Из прочих материалов, сборно-щитовые	из прочих материалов	11
171	Из прочих материалов, смешанные	из прочих материалов	11

№ п.п	Материалы	Материал стен ОКС из раздела 3.2.4	№ строки в таблицах 12 и 15
172	Из прочих материалов, шлакобетонные	из прочих материалов	11
173	Иное	из прочих материалов	11
174	Легкие из местных материалов	из прочих материалов	11
175	Легкие из местных материалов, бетонные, из мелких бетонных блоков	из прочих материалов	11
176	Легкие из местных материалов, шлакобетонные	из прочих материалов	11
177	Смешанные	из прочих материалов	11
178	Смешанные, каменные и деревянные	из прочих материалов	11

Критерий  $S_1$  разработан и апробирован в рамках научно-исследовательской работы в рамках Федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2013 годы», верифицирован ОАО «ПНИИИС», Москва, 2010.

Значения параметра  $S_1$  приведены в таблице 14 в зависимости от присвоенного класса уязвимости. Вариации критерия  $S_1$  получены из работы [58].

Таблица 14 – Вариации параметра  $S_1$

Класс уязвимости	A	B	C	D	E	F
S1	1,5	1	0,9	0,7	0,5	0,3

### **3.5.2 Оценка по параметру $S_2$ – соответствие объемно-планировочных и конструктивных решений действующим регламентам и рекомендациям нормативных документов**

Исходными данными служат параметры 3.2.3 – «Этажность ОКС», 3.2.4 – «Материал ОКС».

Данному параметру оценки дефицита сейсмостойкости присвоено численное значение весового коэффициента  $\alpha_2$  равное 0,25.

Данный параметр устанавливает соответствие принятых объемно-планировочных и конструктивных решений установленной этажности/высоты ОКС.

Параметр  $S_2$  присваивается на основании таблицы 16 в зависимости от превышения этажности, получаемого, как разность значений предельной этажности (Таблица 15) и параметра 3.2.3 – «Этажность ОКС».

Таблица 15 – Исполнение конструктивно-планировочных решений из различных материалов

Несущие конструкции	Предельная этажность при фоновой сейсмичности ОКСа, баллы				
	6	7	8	9	10
1 Стальной каркас	70	60	50	50	3
2. Железобетонный каркас: рамно-связевый, (с железобетонными диафрагмами, ядрами жесткости или стальными связями)	20	16	12	9	1
3. Железобетонный каркас: рамный без заполнения	10	7	5	3	1
4. Стены из монолитного железобетона	27	24	20	16	0
5. Крупнопанельные железобетонные стены	20	16	14	12	0
6. Бетонные стены, крупноблочные стены	12	9	7	5	0
7. Стены из мелких бетонных блоков	5	2	2	1	0
8. Стены из керамических	6	4	3	2	0

кирпичей и камней					
9. Стены из природных материалов	6	4	3	2	0
10. Деревянные	3	2	2	1	0
11. Из прочих материалов	3	2	1	1	0

Значение предельной этажности при фоновой сейсмичности менее 6 баллов не ограничивается и принимается равной величине параметра 3.2.3 – «Этажность ОКС».

В случае некорректных данных об этажности ОКС значение параметра  $S_2$  превышения устанавливается равным 3.

Значение параметра  $S_2$  приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Значение параметра  $S_2$

Превышение этажности на (эт)	0	1	2	более 2
$S_2$	0,2	1,2	1,8	3

Значения критерия  $S_2$  приняты по результатам по результатам оценки последствий землетрясений, в соответствии с результатами ранее выполненных исследований [5, 6, 55, 57], а также на основании работы [58] путем модификации.

Под этажностью следует понимать количество всех этажей, включая подземный, подвальный, цокольный, надземный, технический, мансардный, на основании сведений, содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости.

В зависимости от применения основного материала стен ОКС в таблице 13 приведены их соответствия с нумерацией категорий из таблицы 15, таблицы 12 и значений материалов ОКС из раздела 3.2.4

### **3.5.3 Оценка по параметру $S_3$ – соответствие ОКС по критериям требований современных норм нормативных документов**

Соответствие параметра требованиям норм ОКС определяется, в первую очередь, изменениями к их проектированию и зависит от следующих факторов:

- изменение сейсмичности площадки и зданий в соответствии с действующими на момент постройки нормами;
- установленного нормами методом расчета;
- прочностных характеристик материалов конструкций;
- уровня развития норм по проектированию;
- разработанной конструктивной схемы здания;
- принимаемых нагрузочных эффектов

– накопленных дефектов и повреждений.

Исходными данными при применении экспресс-методики служат параметры раздела 3.2.6 – «Год постройки ОКС».

Данному критерию оценки сейсмостойкости присвоено численное значение весового коэффициента  $\alpha_3$  равное 0,45.

Это связано, в первую очередь, с изменением со времени постройки таких зданий, представлений о природе землетрясений, совершенствованием методов расчета и все большей детальностью районирования территорий России по расчетной сейсмичности. За последние годы сейсмичность многих населенных пунктов повысилась на 1–2 балла, некоторые регионы перешли из разряда несейсмических в сейсмически опасные. На сегодняшний день по данным [66] сейсмически опасными являются около 30% территории России.

В работе «Разработка технических решений по обеспечению сейсмической безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений в сейсмоопасных районах России с учетом требований повышения теплозащиты ограждающих конструкций» [61] приведены данные по расчетной сейсмостойкости ОКС на период строительства.

Проектная сейсмостойкость большинства приведенных в указанной работе зданий на момент строительства составляла 6 баллов. Проектирование таких домов велось как для несейсмических районов. На сегодняшний день фоновая сейсмичность соответствующих площадок строительства возросла до 7–8 баллов.

Также в работе [61] приведен пример обследования жилых домов, показывающий недостаточную сейсмостойкость зданий нетипового массового строительства, запроектированных по нормам, действующим на момент построек, относительно современного строительства.

На основании исследования характерных дефектов зданий нетипового массового строительства в сейсмоопасных регионах, запроектированных по нормам периодов ввода, пересмотра или актуализации нормативного

документа 62], анализа характерных дефектов, выявленных в результате обследования технического состояния, а также нормативных документов, принятых ранее, была принята градация параметра  $S_3$ , представленная в таблице ниже (Таблица 17).

Таблица 17 – Значения параметра  $S_3$

Год постройки	до 1969	1969-81	1981-97	1997-2014	2014-18	после 2018
$S_3$	3	2	1	0,5	0,2	0,05

Формирование диапазонов годов постройки происходит по следующему правилу: конечный диапазон не включительно, а начальный – включительно.

### 3.6 Фактическая сейсмостойкость

Фактическая сейсмостойкость ОКС определяется, как разность между фоновой сейсмичностью (раздел 3.2) и дефицитом сейсмостойкости (раздел 3.5) по формуле:

$$S_f = A - S_d \quad (4)$$

где

$A$  – фоновая сейсмичность;

$S_d$  – дефицит сейсмостойкости.

### 3.7 Расчетный уровень воздействия

Для моделирования ущерба от единичного источника, расчетный уровень воздействия определяется на основании раздела 3.2.2 – «Расчетная интенсивность сейсмического воздействия» на основе результатов моделирования сейсмического воздействия.



### 3.8 Функция уязвимости

Функция уязвимости, связывает степень ущерба, технические характеристики и показатели надежности здания с уровнем сейсмического воздействия.

Степень ущерба, причиненная ОКС при сейсмическом воздействии, классифицируется степенью повреждений их конструктивных элементов, и изменяется от 0 (незаметные повреждения) до 5 (полное обрушение):

1-я степень – легкие: тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки;

2-я степень – умеренные: небольшие трещины в стенах, откалывание довольно больших кусков штукатурки, падение кровельных черепиц, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб;

3-я степень повреждения – тяжелые: большие и глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб;

4-я степень повреждения – разрушения: сквозные трещины и проломы в стенах, обрушение частей здания, разрушение связей между отдельными частями зданий, обрушение внутренних стен и стен заполнения каркаса;

5-я степень повреждения – обвалы: полное разрушение зданий.

Функция уязвимости является аналитической зависимостью повреждаемости ОКС при землетрясениях различной интенсивности для зданий различной сейсмостойкости. Функция уязвимости приведена в Таблице 22.

В таблицах ниже (Таблица 18 - Таблица 21) приведена классификация повреждений ОКС в соответствии с материалом несущих стен.

Таблица 18 – Классификация повреждений ОКС с каменными и кирпичными стенами

	<p><b>Степень 1: Повреждения от практически незаметных до легких (отсутствие повреждений несущих конструкций, легкие повреждения неконструктивных элементов)</b>          Волосные трещины в некоторых стенах. Откалывание небольших кусочков штукатурки. В отдельных случаях падение незакрепленных камней с верхних частей зданий.</p>
	<p><b>Степень 2: Умеренные повреждения (легкие повреждения несущих конструкций, умеренные повреждения неконструктивных элементов)</b>          Трещины во многих стенах. Откалывание довольно больших кусков штукатурки. Частичное обрушение дымовых труб.</p>
	<p><b>Степень 3: Повреждения от значительных до тяжелых (умеренные повреждения несущих конструкций, тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b>          Большие и глубокие трещины в большинстве стен. Падение элементов кровельной черепицы. Разрушение всех дымовых труб на крыше; разрушение отдельных неконструктивных элементов (перегородки, стены фронтона)</p>
	<p><b>Степень 4: Очень тяжелые повреждения (тяжелые повреждения несущих конструкций, очень тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b>          Значительное разрушение стен; частичное разрушение несущих конструкций крыш и перекрытий.</p>


	<p><b>Степень 5: Разрушение (очень тяжелые повреждения несущих конструкций)</b>  Полное или почти полное обрушение.</p>
---	---

Таблица 19 – Классификация повреждений ОКС со стенами из бетона и железобетона

	<p><b>Степень 1: Повреждения от практически незаметных до легких (отсутствие повреждений несущих конструкций, легкие повреждения неконструктивных элементов)</b>  Тонкие трещины в штукатурке по деталям каркаса или цоколе.  Тонкие трещины в перегородках и заполнении каркаса.</p>
	<p><b>Степень 2: Умеренные повреждения (легкие повреждения несущих конструкций, умеренные повреждения неконструктивных элементов)</b>  Трещины в колоннах, балках каркаса и несущих стенах.  Трещины в перегородках и заполнении; падение хрупкой облицовки и штукатурки.  Откалывание раствора из швов стеновых панелей.</p>
	<p><b>Степень 3: Повреждения от значительных до тяжелых (умеренные повреждения несущих конструкций, тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b>  Трещины в колоннах и узлах соединения ригелей со стойками каркаса у фундамента и в стыках связанных стен.  Повреждения защитного слоя</p>

	<p>бетона, изгиб стержневой арматуры.          Большие трещины в перегородках и стеновом заполнении, разрушение отдельных панелей стенового заполнения.</p>
	<p><b>Степень 4: Очень тяжелые повреждения (тяжелые повреждения несущих конструкций, очень тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b>          Большие трещины в элементах несущей конструкции с раздавливанием бетона и разрушением арматурных стержней в балках, наклон колонн. Падение нескольких колонн или обрушение верхнего этажа.</p>
	<p><b>Степень 5: Разрушение (очень тяжелые повреждения несущих конструкций)</b>          Обрушение первого этажа или частей (например, крыльев) здания.</p>

Классификация повреждений ОКС со стальным каркасом выполнена по результатам анализа и оценки последствий землетрясений [73–86].

Классификация повреждений ОКС с деревянными несущими конструкциями выполнена по результатам анализа и оценки последствий землетрясений [87–96]. Характерные примеры повреждений отдельных несущих и ненесущих конструкций, а также зданий и сооружений в целом, соответствующих степеням повреждений, представлены в таблице 21.

Таблица 20 – Классификация повреждений ОКС со стальным каркасом

 <p data-bbox="357 645 839 716">Пример развития тонких трещин в элементе заполнения каркаса</p>	<p data-bbox="922 152 1468 336"><b>Степень 1: Повреждения от практически незаметных до легких (отсутствие повреждений несущих конструкций, легкие повреждения неконструктивных элементов)</b></p> <p data-bbox="922 340 1468 412">Тонкие трещины в перегородках и заполнении каркаса.</p>
 <p data-bbox="411 1214 804 1249">Пример отслаивания краски</p>  <p data-bbox="316 1740 880 1809">Локальная потеря местной устойчивости полок в приопорной зоне балок</p>	<p data-bbox="922 723 1484 907"><b>Степень 2: Умеренные повреждения (легкие повреждения несущих конструкций, умеренные повреждения неконструктивных элементов)</b></p> <p data-bbox="922 911 1468 1095">Отслаивание краски, а также элементов огнезащиты в приопорной зоне балок, в узлах сопряжения балка–колонна (зоны образования пластических шарниров).</p> <p data-bbox="922 1099 1468 1310">Локальная потеря местной устойчивости полок в приопорной зоне балок и элементов связей. Незначительные остаточные деформации элементов вертикальных связей.</p> <p data-bbox="922 1314 1484 1422">Трещины в перегородках и заполнении каркаса; падение хрупкой облицовки и штукатурки.</p>
	<p data-bbox="922 1816 1468 2000"><b>Степень 3: Повреждения от значительных до тяжелых (умеренные повреждения несущих конструкций, тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b></p> <p data-bbox="1013 2004 1468 2033">Потеря местной устойчивости</p>



Пример образования трещин на приопорном участке балки



Пример отказа связевых элементов X-образной связи



Пример отказа связевых элементов V-образной связи

приопорных зон балок (образование пластических шарниров в балках). Потеря местной устойчивости зоны соединения «балка–колонна», образование трещин по металлу элементов и сварным швам на приопорном участке балки. Потеря общей устойчивости сжатых связевых элементов. Отказ отдельных болтов или элементов в соединении (без отказа всего соединения).

Большие трещины в перегородках и стеновом заполнении, разрушение отдельных элементов заполнения.

**Степень 4: Очень тяжелые повреждения (тяжелые повреждения несущих конструкций, очень тяжелые повреждения неконструктивных элементов)**



Пример обрушения элементов ограждающих конструкций



Пример потери общей устойчивости отдельных колонн



Пример обрушения части здания

Отказ связевых элементов каркаса (потеря общей устойчивости сжатых связей, разрушение зоны соединений растянутых связей). Потеря общей устойчивости отдельных колонн (образование пластических шарниров в соединении или на концах колонн), крен здания.

Частичное или полное обрушение перегородок и элементов ограждающих конструкций каркаса.


**Степень 5: Разрушение (очень тяжелые повреждения несущих конструкций)**

Обрушение первого этажа или частей (например, крыльев) здания.



Пример обрушения здания

Таблица 21 – Классификация повреждений ОКС с деревянными несущими конструкциями

 <p>Пример развития тонких трещин в элементе заполнения каркаса</p>	<p><b>Степень 1: Повреждения от практически незаметных до легких (отсутствие повреждений несущих конструкций, легкие повреждения неконструктивных элементов)</b></p> <p>Тонкие трещины в перегородках и неконструктивных элементах.</p>
---	---





Пример разупрочнения соединения и раскрытия швов в соединении

**Степень 2: Умеренные повреждения (легкие повреждения несущих конструкций, умеренные повреждения неконструктивных элементов)**

Разупрочнение соединений, значительное обмятие древесины и раскрытие швов в зоне соединений элементов.

Незначительные остаточные деформации элементов вертикальных конструкций. Трещины в элементах обшивки каркасно-обшивных конструкций. Повреждения ненесущих конструкций и неконструктивных элементов.



Пример отказа соединения


**Степень 3: Повреждения от значительных до тяжелых (умеренные повреждения несущих конструкций, тяжелые повреждения неконструктивных элементов)**

Отказ отдельных связевых элементов каркаса (разрушение обшивок) и элементов стеновых конструкций (скалывание древесины, разрушение и разупрочнение элементов соединений конструкций стены зданий и бруса, трещины в элементах конструкций их древесины). Разрушение отдельных частей ненесущих конструкций и неконструктивных элементов.



Пример разрушения обшивок

**Степень 4: Очень тяжелые**

 <p data-bbox="336 797 863 864">Пример разрушения зоны соединения колон нижнего этажа</p>	<p data-bbox="922 159 1485 300"><b>повреждения (тяжелые повреждения несущих конструкций, очень тяжелые повреждения неконструктивных элементов)</b></p> <p data-bbox="922 304 1485 846">Отказ связевых элементов каркаса (разрушение обшивок) и элементов стеновых конструкций (скалывание древесины, разрушение и разупрочнение элементов соединений конструкций стены зданий и бруса). Отказ зон соединений элементов на первом этаже здания (образование пластических шарниров в соединении или на концах колонн), крен здания. Разрушение отдельных несущих конструкций. Разрушение ненесущих конструкций и неконструктивных элементов. Обрушение конструкций покрытия.</p>
 <p data-bbox="379 1447 815 1473">Пример обрушения здания [18]</p>	<p data-bbox="922 875 1485 981"><b>Степень 5: Разрушение (очень тяжелые повреждения несущих конструкций)</b></p> <p data-bbox="922 985 1485 1055">Обрушение первого этажа или частей (например, крыльев) здания.</p>

Функция уязвимости определяется эмпирическим путём на основании данных инженерного анализа последствий сильных землетрясений. Законы разрушения при определении функции уязвимости для разных типов зданий строятся на основе данных инженерного анализа последствий сильных землетрясений. Используются законы разрушения двух типов: вероятности наступления не менее определенной степени повреждения зданий  $P_{Ai}(I)$  и вероятности наступления определенной степени повреждений зданий  $P_{Bi}(I)$  (Рисунок 24).

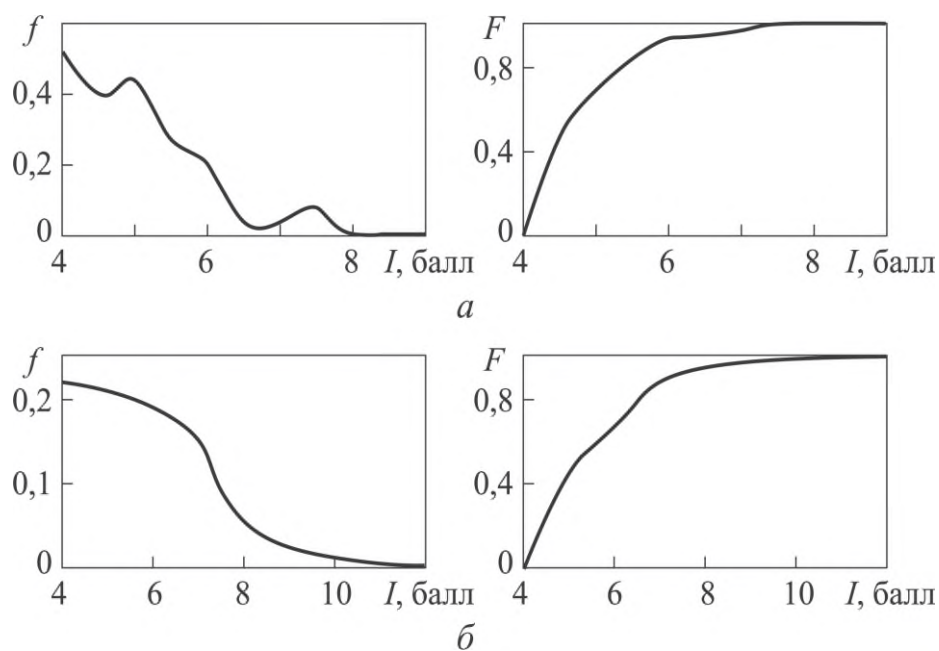


Рисунок 24 – Пример функции плотности распределения вероятности  $f(P_{Ai}(I))$  и распределения  $F(P_{Bi}(I))$  от интенсивности землетрясения

При построении законов разрушения для каждого здания рассматриваются пять степеней повреждения, указанные выше в данном разделе. Т.е. принимается, что после землетрясения поврежденное здание может быть в одном из пяти состояний (Рисунок 25).

Для оценки параметров нормального закона разрушения использовалась представительная статистическая [67] выборка, включающая события, произошедшие во второй половине XX – начале XXI столетия в России, Узбекистане, Туркмении, Румынии, Молдавии, Армении, Грузии и других странах [66].

Для построения кривой, аппроксимирующей вероятности наступления не менее определенной степени повреждения зданий, использовалась функция правдоподобия.

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

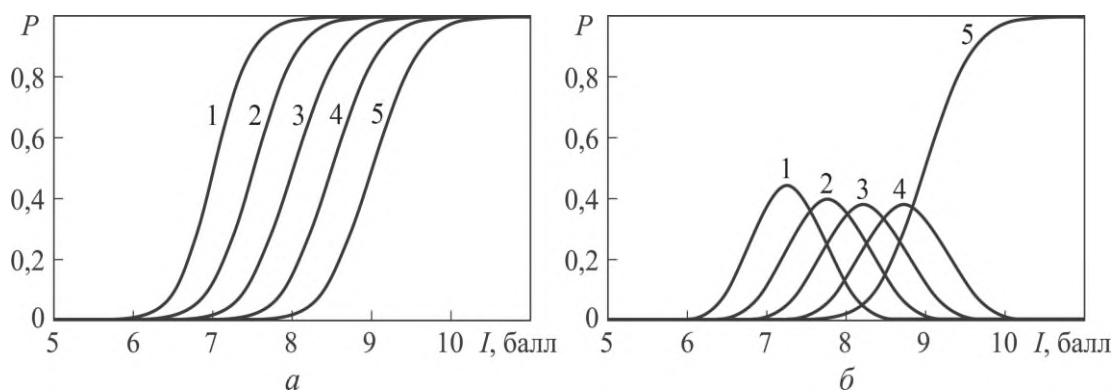


Рисунок 25 – Законы разрушения зданий при не менее определенных (а) и определенных (б) степенях повреждения зданий в результате землетрясения (1 – 5 — степени повреждения зданий)

В таблице 22 приведены вероятностные значения повреждения ОКС, отнесенные к различной расчетной сейсмостойкости, при различном уровне расчетного воздействия.

Значения уязвимости учитывают тот факт, что, при расчетном воздействии в 9 баллов, ОКС с сейсмостойкостью 8 баллов (дефицит – 1 балл) получают больший ущерб, чем ОКС с сейсмостойкостью 5 баллов при воздействии в 7 баллов (дефицит – 2 балла).

Таблица 22 – Степень повреждения здания фактической сейсмостойкости при землетрясениях в баллах

Фактическая сейсмостойкость	Степень повреждения ОКС при расчетном уровне воздействия в баллах				
	6	7	8	9	10
4;4,5	1	2	5	5	5
5;5,5	1	2	4	5	5
6;6,5	0	2	3	5	5
7;7,5	0	1	2	4	5
8;8,5	0	0	1	3	4
9;9,5	0	0	0	1	2
10	0	0	0	0	1

Промежуточные значения фактической сейсмостойкости определяются путем округления в меньшую сторону.

Степень повреждения ОКС с фактической сейсмостойкости ниже 4 баллов необходимо принимать как для ОКС с фактической сейсмостойкостью 4 балла.

Значения степеней повреждения функции уязвимости в методике приняты на основании работ [9, 63] российских и зарубежных специалистов по анализу уязвимости и сейсмического риска, а также на основе группировки признаков интенсивности шкал ШСИ и MSK-64.

### **3.9 Уязвимость**

Уязвимость определяется для зданий и сооружений как отношение стоимости восстановления к его первоначальной стоимости.

Сейсмическая уязвимость изменяется от 0,06 (отсутствие повреждений) до 1,2 (полное разрушение в совокупности с затратами на снос).

Связь между степенью повреждения и уязвимостью приводится в таблице 23.

Сейсмическая уязвимость напрямую зависит от степени повреждения ОКС, приводимой в разделе 3.8.

- Степени повреждения 1 соответствует уязвимость 0,06.
- Степени повреждения 2 соответствует уязвимость 0,3.
- Степени повреждения 3 соответствует уязвимость 0,6.
- Степени повреждения 4 соответствует уязвимость 1.
- Степени повреждения 5 соответствует уязвимость 1,2.

Значения уязвимости основаны на анализе затрат на восстановление зданий и сооружений, поврежденных в результате воздействия землетрясения. Анализ затрат на восстановление осуществляется в соответствии со степенью повреждения ОКС. Практика показывает, что при ликвидации последствий землетрясений обычно приходится осуществлять восстановительные мероприятия, направленные на устранение дефектов, возникших после землетрясения, и реже повышать сейсмостойкость зданий по сравнению с их состоянием до землетрясения. Это вызвано тем, что

многие здания построены без антисейсмических мероприятий, без соблюдения требований сейсмостойкого строительства.

В зависимости от степени повреждения ОКС ранжируются восстановительные мероприятия (новое строительство) и периоды их проведения.

Восстановление ОКС, подвергшихся степени повреждения 1 осуществляется посредством косметического ремонта отделочных материалов. Период восстановительных мероприятий при повреждениях 1 степени составляет 0,5 календарных месяца.

Восстановление ОКС, подвергшихся степени повреждения 2 осуществляется с использованием ремонтных составов для усиления несущих конструкций, а также заменой поврежденных декоративных и кровельных материалов и косметического ремонта. Период восстановительных мероприятий при повреждениях 2 степени составляет 1 календарный месяц.

Восстановление ОКС, подвергшихся степени повреждения 3 осуществляется по результатам заключения на основании технического обследования, реализации мероприятий по усилению несущих конструкций, замены поврежденных, восстановление разрушенных конструкций и дальнейшего косметического ремонта. Период восстановительных мероприятий при повреждениях 3 степени составляет 2 календарных месяца.

Восстановление ОКС, подвергшихся степени повреждения 4 осуществляется по результатам заключения на основании технического обследования и проведения капитального ремонта. Период восстановительных мероприятий при повреждениях 4 степени составляет 5 календарный месяцев.

Таблица 23 – Значения уязвимости

<b>Степень повреждения</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
--------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Уязвимость $Y$	0	0,06	0,3	0,6	1	1,2
----------------	---	------	-----	-----	---	-----

### 3.10 Ущерб

Ущерб устанавливается, как произведение уязвимости и кадастровой стоимости (раздел 3.2.8) по формуле:

$$U = Y \cdot C \quad (5)$$

где

$Y$  – уязвимость;

$C$  – приведенная к ценам расчетного года кадастровая стоимость ОКС, руб.

Кадастровая стоимость на текущий период определяется посредством индексов изменения сметной стоимости строительно-монтажных и пусконаладочных работ по объектам строительства относительно параметра «Дата определения кадастровой стоимости ОКС».

$C$  для отдельного ОКС рассчитывается по формуле:

$$C = KC \cdot K_{\text{укс}}^{(\Gamma_p - \Gamma_{\text{обс}})} \quad (6)$$

где:

$C$  – приведенная к ценам расчетного года кадастровая стоимость ОКС, руб.;

$KC$  – Кадастровая стоимость ОКС, руб.;

$\Gamma_p$  – год расчета, безразмерный;

$\Gamma_{\text{обс}}$  – год определения кадастровой стоимости ОКС, безразмерный;

$K_{\text{укс}}$  – коэффициент увеличения кадастровой стоимости ОКС, безразмерный, равен 1,09.

В случае отсутствия параметра «Дата определения кадастровой стоимости ОКС», то исходной датой для расчета суммарного коэффициента

инфляции необходимо принять параметр «Год постройки ОКС» раздела 3.2.6.

Повторный ущерб ОКС в период восстановительных мероприятий необходимо учитывать в рамках кумуляции ущерба, как от новых землетрясений, так и от возможных афтершоков основного события.

Описанная методика позволяет вычислить прямой ущерб для индивидуального ОКС.

### **3.11 Масштабирование ущерба**

Для возможности определения экономического ущерба в более крупных масштабах предусмотрена возможность масштабирования по географическим координатам, по кадастровому номеру и наименованиям административных единиц различного уровня.

Параметр 3.2.12 используется для масштабирования по географическим координатам.

Параметр 3.2.7 используется для масштабирования по кадастровому номеру.

Для масштабирования по наименованиям административных единиц различного уровня необходимо программным путем разделить параметр «Адрес ОКС» 3.2.10 на следующие составляющие:

- наименование административной единицы в составе муниципального образования;
- наименование административной единицы второго уровня;
- наименование административной единицы третьего уровня.



### 3.12 Критерии дефицита сейсмостойкости

Для проведения экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации на основе имеющихся сведений государственных реестров и фондов, разработаны критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства:

- величина общего абсолютного потенциального ущерба от единичного сейсмического события для региона ( $R_u$ );
- величина потенциального ущерба, отнесенная к общей площади застройки в регионе ( $R_s$ );
- величина потенциального ущерба, отнесенная к численности населения по региону ( $R_p$ );
- величина приведенного потенциального ущерба на кв.м, отнесенная к стоимости строительства кв.м ( $R_{us}$ ).

$R_u$  - величина общего абсолютного ущерба от единичного события для региона определяется как сумма ущербов для каждого ОКС. Данный критерий является необходимым показателем для целей планирования и ликвидации последствий землетрясений, показывает абсолютную картину. С учетом вероятностных расчетов возможно отразить указанные факторы по стране в максимальном потенциальном ущербе для целей планирования резервирования.

$R_s$  - ущерб, отнесённый к общей площади застройки определяется отношением суммарного ущерба к общей площади застройки. Данный критерий является показателем однородности застройки. Он позволяет выделить регионы с качеством застройки ниже, чем в среднем по стране. Такие регионы будут требовать первоочередного внимания.

$R_p$  - величина ущерба, отнесенная к численности населения по региону определяется отношением суммарного ущерба к численности населения в

регионе. Данный критерий отражает уровень риска социальных потерь (раненых либо погибших в случае сильного сейсмического события).

$R_{us}$  - величина приведенного ущерба на кв.метр, отнесенная к стоимости строительства одного кв.метра ОКС рассчитывается отношением значения критерия  $R_s$  к стоимости строительства одного квадратного метра в анализируемом регионе. Данный критерий отражает целесообразность вложений бюджетных средств обновление жилья. Данный критерий позволяет выделить приоритетные регионы требующие с инвестиций и затрат на замещение жилого фонда.

Стоимость строительства кв.метра жилья при расчете критерия  $R_{us}$  необходимо принимать в соответствии с приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29.08.2023 № 619/пр "О показателях средней рыночной стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по субъектам Российской Федерации на IV квартал 2023 года".

Разработанные критерии позволяют ранжировать базу данных произвольной величины по уровню дефицита сейсмостойкости как применительно к каждому ОКС, так и в масштабах города, региона или всей страны.

Ранжирование происходит на основании критерия  $R_{us}$  на три основные группы.

Так наибольшим уровнем дефицита сейсмостойкости обладают ОКС, для которых критерий  $R_{us}$  более 0,6. Такие объекты будут разрушены при потенциальном землетрясении и обладают самым высоким приоритетом при разработке программ по замещению жилья в регионе.

Средним уровнем дефицита сейсмостойкости обладают ОКС для которых критерий  $R_{us}$  находится в пределах от 0,3 до 0,6. Такие объекты получают серьезные повреждения при потенциальном землетрясении и требуют проведения работ по реконструкции.

Низким уровнем дефицита сейсмостойкости обладают ОКС критерий  $R_{us}$  которых находится в пределах до 0,3. Такие объекты перенесут потенциальное землетрясение с незначительными повреждениями и рекомендованы к проведению ремонтных работ.

Дальнейшая классификация происходит по оставшимся критериям в зависимости от установленных задач. В общем случае, приоритет применения критериев дефицита сейсмостойкости при ранжировании ОКС устанавливается в соответствии с таблицей ниже (Таблица 24). Так после классификации ОКС в регионе по критерию  $R_{us}$ , дальнейшим приоритетом обладают ОКС с самой большой величиной потенциального ущерба на душу населения ( $R_p$ ). Далее объекты с наибольшей величиной критерия  $R_s$ .

Таблица 24 – Приоритет применения критериев дефицита сейсмостойкости

	$R_{us}$	$R_p$	$R_s$	$R_u$
$R_{us}$	-	1	2	3
$R_p$	1	-		
$R_s$	2		-	
$R_u$	3			-

Разработанная методика и критерии дефицита сейсмостойкости жилой застройки позволяют оценить потенциальный ущерб и возможные повреждения от любого сейсмического события, в том числе:

- от потенциального точечного максимального разового землетрясения;
- от потенциального точечного землетрясения с периодом повторяемости, соответствующего нормативным картам сейсмического микрорайонирования ОСР;
- от разового площадного землетрясения в регионе интенсивностью 7-9 и более баллов.

### 3.13 Выводы по Разделу 3

В соответствии с Техническим заданием, в настоящем разделе разработаны методика оценки дефицита сейсмостойкости и критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства.

Разработанные критерии позволяют классифицировать жилой фонд по уровню дефицита сейсмостойкости как применительно к каждому ОКС, так и в масштабах города, региона или всей страны.

Также методика позволяет классифицировать ОКС с наибольшим уровнем дефицита сейсмостойкости по следующим параметрам, позволяющим определять приоритетные направления инвестирования:

- материал стен ОКС;
- год постройки ОКС;
- этажность ОКС;
- дефицит сейсмостойкости в баллах.

Расчеты могут проводиться как для суммарного ущерба, отражающего количественные значения, так и для приведенных значений, показывающих качественную картину.

Имеется возможность отражать количественные значения подверженности как в баллах сейсмической интенсивности, и кв.м жилья.

Также разработанная методика позволяет планировать и разрабатывать основные пути повышения сейсмобезопасности зданий жилой застройки путем оценки влияния тех или иных мероприятий на уровень дефицита сейсмостойкости ОКС в регионе.

Результаты апробации разработанных методики и критериев дефицита сейсмостойкости приведены в разделе 5.

В результате ранжирования территории РФ по разработанным критериям дефицита сейсмостойкости должен быть сформирован перечень ОКС в каждом регионе для проведения уточненного анализа дефицита

сейсмостойкости по многофакторной методике с учетом материалов паспортизации, приведенной в разделе 4.

## **4 Многофакторная методика оценки сейсмостойкости с учетом паспортизации**

### **4.1 Общие сведения по разделу**

Многофакторная оценка дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства применяется ОКС, приоритет которых установлен в результате экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилого фонда РФ, расположенного в сейсмоопасных районах, на основании критериев установленных в предыдущем разделе.

Данная методика позволяет произвести уточненную оценку экономического ущерба от потенциального землетрясения в соответствующих регионах, а также целесообразность инвестиций и затрат на замещение, реконструкцию и ремонт жилья.

Процедура многофакторной оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства предполагает уточненный анализ факторов дефицита сейсмостойкости (раздел 4.2), на основе проведения процедур обследования (раздел 4.3) и паспортизации (раздел 4.4).

### **4.2 Параметры дефицита сейсмостойкости**

Надежность строительных конструкций зданий при сейсмическом воздействии достигается совместным применением расчета и основных положений по проектированию, включающих объемно-планировочные решения и конструирование элементов. Ни один из этих двух элементов проектирования не является достаточным для разработки проекта сейсмостойкого объекта и ни один не достаточен для суждения об его сейсмостойкости

Для получения объективных данных о сейсмостойкости зданий (сооружений) их оценка обобщенная и многофакторная и учитывает значительное количество неопределенностей, в том числе прогноз времени, места, интенсивности, спектра, длительности землетрясений, а также

диссипативные способности сооружения, склонность к прогрессивному разрушению и др

Немаловажным при этом является возможность учета эмпирических данных о поведении различных сооружений при землетрясениях, конструктивных особенностей, общее понимание механизмов сейсмических разрушений

Параметры, определяющими сейсмостойкость строительных конструкций зданий и сооружений ( $S_i$ ) являются:

- $S_1$  – «живучесть» системы, определяемая его способностью к значительным перемещениям и неупругим деформациям без обрушения (коллапса), создающего прямую опасность для людей;
- $S_2$  – соответствие объемно-планировочных и конструктивных решений действующим регламентам и рекомендациям нормативных документов;
- $S_3$  – эксплуатационное техническое состояние конструкций ОКС;
- $S_4$  – соответствие критериям расчетного анализа.

Первые три группы факторов являются качественными признаками системы, а последний - количественным.

Влияние отдельного фактора на общую сейсмостойкость здания зависит от многих параметров. Сложность количественной оценки всех этих факторов позволяет представить каждый из них в виде произведения,

$$S_d = \sum_{i=1}^4 \alpha_i S_i \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  – удельный вес данного фактора по его влиянию на общую сейсмостойкость конструкции;

$S_i$  – выраженная в долях единицы степень соответствия данного фактора для рассматриваемого сооружения в реальном случае по сравнению с случаем, когда данный фактор полностью соответствует требованиям

действующих регламентов или нормативных документов или имеет наивысшую оценку сейсмостойкости (равную единице)

Рекомендуемые величины  $\alpha$ , представлены в таблице 25. Указанные величины и могут уточняться в процессе исследований.

Таблица 25 – Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  – сейсмостойкости

Фактор	$\alpha_1$	Количественная оценка
1	$\alpha_1$	0,25
2	$\alpha_2$	0,15
3	$\alpha_3$	0,15
4	$\alpha_4$	0,45

С учетом данных таблицы 25 выражение (7) превратится в сумму

$$S_d = 0,25 S_1 + 0,15 S_2 + 0,15 S_3 + 0,45 S_4 \quad (8)$$

Порядок формирования и содержание факторов оценки сейсмостойкости ( $S_i$ ) представлены в разделах ниже.

#### 4.2.1 Оценка по параметру $S_1$ - живучесть

Оценка сейсмостойкости зданий и сооружений по критерию  $S_1$  (фактическая «живучесть») определяется по результатам анализа последствий землетрясений, а также экспериментальных исследований и присвоением класса уязвимости. Для классификации конструктивного типа зданий по классу уязвимости приняты гармонизированная с европейскими нормами шкала, которая классифицирует здания по 6 классам и 2 подклассами уязвимости. Данная шкала была предложена в [64].

По результатам анализа последствий прошедших землетрясений и данных экспериментальных исследований обобщаются категории сейсмостойкости (класс уязвимости) различных типов зданий и сооружений по критерию  $S_1$  - «живучесть» в соответствии с характерными признаками конструктивных характеристик



Таблица 26 –Критерий  $S_1$  – «живучесть»

Класс уязвимости	A1	A2	B	C	D	E	F1	F2
S1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,5	2

Данному критерию оценки сейсмостойкости присвоено численное значение весового коэффициента  $a_1$ , равное 0,25.

#### **4.2.2 Оценка по параметру $S_2$ – соответствие требованиям регламентов (норм)**

Сейсмостойкость строительных конструкций зданий и сооружений обеспечивается, в том числе, соблюдением требований нормативных документов к их объемно-планировочным решениям (Общие положения норм) и конструированию СП 14.13330.

Порядком оценки сейсмостойкости по критерию  $S_2$  служит 3-я часть Паспорта сейсмостойкости ОКС (Приложение А)

Данному критерию оценки сейсмостойкости присвоено численное значение весового коэффициента  $a_2$ , равное 0,15.

#### **4.2.3 Оценка по параметру $S_3$ – эксплуатационное техническое состояние конструкций ОКС**

Оценка по критерию  $S_4$  – «эксплуатационное техническое состояние конструкций ОКС» определяется на основании натурного обследования в соответствии с разделом 4.3 и на основании правил, изложенных в [68].

Оценка технического состояния ОКС и основных несущих конструкций зданий (сооружений) производится на основе результатов обследования в соответствии с рекомендациями по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам.

Данные по эксплуатационному техническому состоянию конструкций ОКС прописывают в разделе 1 паспорта сейсмостойкости (Приложение А).

Каждому состоянию соответствует свое значение  $S_4$ , приведенное в таблице 27.

Таблица 27 – Критерий  $S_3$  – «эксплуатационное техническое состояние конструкций ОКС»

Категория эксплуатационного технического состояния		$S_3$
1	Нормальное состояние	1
2	Удовлетворительное состояние	0,95
3	Не совсем удовлетворительное состояние	0,85
4	Неудовлетворительное состояние	0,75
5	Аварийное состояние	0,65

Весовому коэффициенту по критерию сейсмостойкости  $S_4$  присвоена количественная мера  $a_4 = 0,15$ .

#### 4.2.4 Оценка по параметру $S_4$ – соответствие критериям расчетного анализа

Соответствие критериям расчетного анализа эксплуатируемых ОКС определяется по фактической несущей способности строительных конструкций на основании поверочных расчетов. Расчетом определяется максимальное расчетное значение коэффициента сейсмичности, при котором ОКС является сейсмостойким (сохраняет несущую способность). Критерий  $S_5$  равен отношению значения балльности площадки строительства к максимальной расчетной сейсмичности, полученной по результатам расчетного анализа.

$$S_5 = \frac{A_6}{S_p} \quad (9)$$

где  $A_6$  – балльность площадки строительства;

$S_p$  – расчетная сейсмичность.

Балльность площадки строительства определяется на основании обследования технического состояния ОКС и заносится в п. 2.1 паспорта

(Приложение А).

Расчетная сейсмичность определяется по результатам расчетного анализа ОКС и заносится в п. 3 паспорта (Приложение А).

Значение  $S_5$  находится в пределах  $0.7 \leq S_5 \leq 1,2$ .

В процессе исследований параметра  $S_5$  необходимо последовательно провести следующие виды операций:

- дать оценку балльности площадки строительства ОКС;
- сбор нагрузок и выбор расчетной схемы здания с действующими нагрузками;
- численное моделирование расчетной конструктивной схемы здания (сооружения);
- произвести учет результатов обследования эксплуатационного технического состояния;
- непосредственно расчет с анализом полученных результатов.

Расчетный анализ производится с использованием программных комплексов, получивших в установленном порядке подтверждение соответствия заложенных в них методов на использование для расчетного анализа на сейсмические воздействия.

Весовому коэффициенту  $a_5$  соответствует количественное значение, равное 0,2.

### **4.3 Инженерное обследование**

При проведении многофакторной оценки экономического ущерба необходимой ее составляющей является инженерное обследование технического состояния жилых ОКС нетипового массового строительства.

Основной задачей инженерного обследования объектов является сбор и документирование сведений об ОКС, включая параметры внешних воздействий и эксплуатационной среды, оценки уязвимости и сейсмического риска, возможности их дальнейшей эксплуатации и/или необходимости восстановления (усиления).

Все виды работ в составе обследования технического состояния необходимо осуществлять в соответствии с [68].

Исполнение работ по инженерному обследованию необходимо осуществлять с привлечением специализированной организации, имеющей разрешение на проведение указанных работ.

Сведения по паспортизации объектов являются основой для обоснования показателей определения дефицита сейсмостойкости ОКС.

В процессе инженерного обследования может проводиться комплексная экспериментальная проверка (испытания, исследования, расчёт) объекта и его отдельных конструкций на сейсмостойкость. Данные такой проверки являются уточнениями данных, полученных в предварительном и детальном обследовании.

#### **4.3.1 Общие положения**

Основной задачей инженерного обследования объектов является сбор и документирование сведений об ОКС, включая параметры внешних воздействий и эксплуатационной среды, оценки уязвимости и сейсмического риска, возможности их дальнейшей эксплуатации и/или необходимости восстановления (усиления).

В составе инженерного обследования ОКС исполнителем выполняются оценка технического состояния строительных конструкций.

В ходе работ по инженерному обследованию ОКС производится фиксация конструктивных особенностей.

Все виды работ в составе инженерного обследования необходимо осуществлять в соответствии с [68].

Исполнение работ по инженерному обследованию необходимо осуществлять с привлечением специализированной организации, имеющей разрешение на проведение указанных работ.

Сведения по паспортизации объектов являются основой для обоснования показателей определения дефицита сейсмостойкости ОКС.

Результаты паспортизации подлежат обязательному учету.

В процессе инженерного обследования по рекомендации исполнителя может проводиться комплексная экспериментальная проверка (испытания, исследования, расчёт) объекта и его отдельных конструкций на сейсмостойкость. Данные такой проверки являются уточнениями данных, полученных в предварительном и детальном обследовании.

Инженерное обследование зданий и сооружений [68] представляет собой работы на основе визуального обследования и детального (инструментального) обследования. Детальное обследование уточняет данные, полученные при визуальном обследовании.

Инженерное обследование может быть дополнено экспериментальной и должна быть дополнена расчётной частями (испытания, исследования, расчёт, мониторинг) для уточнения основных конструктивных параметров и особенностей сейсмостойких ОКС. При сокращении объёмов обследования, снижется достоверность (точность) данных по оценке сейсмостойкости зданий и сооружений.

#### **4.3.2 Предварительное и визуальное обследование**

Подготовительные работы к проведению инженерного обследования выполняются на основании письменного обращения заказчика (собственника имущества либо уполномоченного им лица), который одновременно с обращением представляет исполнителю имеющуюся технологическую и техническую документацию по объекту и проект технического здания.

Подготовительные работы, проводимые исполнителем, должны включать:

- изучение ОКС и технической документации;
- технические предложения при её отсутствии;
- анализ технического задания заказчика;
- составление программы проведения работ.

Изучение ОКС имеет целью сбор исходной информации для установления объёмов и очередности работ при проведении инженерного обследования и подготовки данных для оформления договора, с оценкой возможности безопасного доступа на объект и к строительным конструкциям. При этом проводится:

визуальный осмотр объекта;

– оценка условий эксплуатации конструкций объекта (наличие техногенных воздействий, агрессивных веществ, экстремальных динамических нагрузок, соблюдения условий обеспечения пространственной жёсткости и устойчивости несущей системы, оценка состояния грунтов оснований и пр.);

– определение участков с наибольшей степенью эксплуатационного износа конструкций и предполагаемых причин;

– предварительное выявление конструкций, имеющих опасные дефекты, повреждения и деформации, находящихся в аварийном состоянии, с выдачей предложений по проведению первоочередных противоаварийных мероприятий;

– определение безопасного способа доступа к конструкциям (использование имеющегося оборудования, технологических площадок, устройство необходимых лесов, подмостей, приспособлений, необходимость отключения энергоносителей, вплоть до частичной или полной остановки строительства, эксплуатации либо производства).

Изучение технической документации осуществляется в целях установления её комплектности и качества. Перечень технической документации, используемой при обследовании, включает:

– технический паспорт на объект, подготовленный по результатам инвентаризации;

- комплект общестроительных чертежей с указанием всех изменений, внесённых при производстве работ, и отметок о согласовании этих изменений с проектной организацией, разработавшей проект;
- акты приёмки объекта в эксплуатацию с указанием недоделок, акты устранения недоделок;
- акты приёмочных испытаний, проведённых в процессе эксплуатации;
- технический журнал по эксплуатации объекта;
- акты на скрытые работы и акты промежуточной приёмки отдельных ответственных конструкций;
- журналы производства работ и авторского надзора;
- материалы геодезических съёмок;
- журналы контроля качества работ;
- сертификаты, технические паспорта, удостоверяющие качество конструкций и материалов;
- акты противокоррозионных и окрасочных работ;
- акты результатов периодических осмотров конструкций;
- акты расследования аварий и нарушений технологических процессов, влияющих на условия эксплуатации объекта;
- отчёты, документы и заключения специализированных организаций о ранее выполненных технических обследованиях;
- документы о текущих и капитальных ремонтах, усилениях конструкций;
- документы, характеризующие фактические технологические (эксплуатационные) нагрузки и воздействия и их изменения в процессе эксплуатации;
- документы, характеризующие физические параметры среды помещений, которые могут повлиять на эксплуатационную надёжность и безопасность объекта (состав и концентрация газов, влажность, температура, тепло и пылевыведение и т.д.);

– отчёты по инженерно-геологическим условиям территории, на которой расположен объект.

При отсутствии рабочих чертежей, данных о свойствах материалов и другой необходимой информации, составляется специальное соглашение заказчика с исполнителем на выполнение дополнительных работ.

Предварительное обследование производится с целью быстрого сбора первичной информации об объекте, качественной оценки его состояния и оформления сведений о конкретном объекте.

В результате предварительного обследования отсеиваются от дальнейшего рассмотрения группы и отдельные объекты, конструкции и техническое состояние которых соответствует требованиям действующих норм, а среди групп и отдельных объектов, имеющих «сомнительную» или недостаточную сейсмостойкость (высокую уязвимость), устанавливается очередность на производство детального инженерного обследования с целью уточнения дополнительных факторов сейсмостойкости.

Визуальное обследование проводят с целью предварительной оценки технического состояния объекта, сбора и оформления первичной информации об объекте. В результате обследования отсеиваются при дальнейшем рассмотрении объекты, техническое состояние которых соответствует требованиям действующих норм, объекты, имеющие недостаточную сейсмостойкость (высокую уязвимость), устанавливается очередность на проведение детального инженерного обследования с целью уточнения факторов, влияющих на сейсмостойкость.

При инженерном обследовании конструкции собираются и уточняются (по необходимости) данные для:

- эксплуатационной оценки надёжности объекта и соответствие нагрузок и воздействий действующим нормативным документам;
- оценки сейсмостойкости (дефицита);



- обоснование принятия решения по способу усиления (повышения сейсмостойкости, устранения неисправностей и др.);
- планового заполнения паспорта сейсмостойкости;
- обоснования проведения дополнительных работ (исследование, испытание, расчёт и пр.).

### **4.3.3 Детальное обследование**

Детальное обследование производят с целью сбора дополнительной и уточняющей информации об объекте, необходимой для количественной оценки сейсмостойкости объекта и принятия последующих решений, включая необходимость, целесообразность и объем работ по его усилению и проведения экспериментальной части. Весь объем данных по инженерному обследованию и экспериментальной части должен быть дифференцирован в зависимости от стадии обследования. Данные детального обследования также заносятся в паспорт, формируемый на стадии предварительного обследования.

По результатам обследования конструкций приводятся следующие данные:

- фактические размеры основных конструктивных элементов: пролёты, шаг конструкций, отметки по высоте, расстояние между узлами (при необходимости) и т.д.;
- отклонения габаритных размеров и длин конструктивных элементов от проектных величин (при необходимости);
- наличие и расположение элементов связей, мест изменения сечений, ребер и т.д.;
- фактические размеры сечений элементов и их соединений (подлежащие измерению сечения элементов и их соединений определяет руководитель работ);
- дефекты и повреждения элементов, узлов оформляются в виде ведомости с указанием методов их устранения.

При обследовании должны быть зафиксированы выявленные фактические постоянные и временные нагрузки, осадки фундаментов, температурные воздействия и другие условия эксплуатации.

Оценка качества материалов конструкций и их соединений выполняется при необходимости.

При оценке технического состояния и остаточного ресурса объектов, запроектированных и возведённых с отступлениями от действующих норм, учитывается опасность длительно действующих отступлений, в том числе:

- несоответствие габаритов, температурных швов;
- трудно устранимые, давно существующие дефекты;
- применение сталей и арматуры низкого качества;
- несоответствующий нормам класс бетона;
- концентраторы напряжений;
- обводнение грунтов, утяжеление кровель и другие факторы.

Итогом инженерного обследования являются материалы, необходимые для оценки сейсмостойкости объекта, после чего принимается решение о пригодности его к дальнейшей эксплуатации, необходимости и уровне усиления конструкций или сносе (утилизации). Результаты инженерного обследования являются основой для паспортизации объектов.

Результаты инженерного обследования по каждому объекту отражаются в технических документах (паспортах сейсмостойкости зданий).

## **4.4 Паспортизация**

### **4.4.1 Общие положения**

Целью паспортизации является получение достоверных сведений о сейсмобезопасности ОКС.

Основной состав работ по паспортизации должен включать в себя:

- максимально полное выявление для объекта общих сведений и актуальных материалов, карт, схем и документов, необходимых для четкой идентификации уровня сейсмобезопасности;

- формирование базы пространственных данных по объектам, включающие актуализированные материалы, документы и чертежи, необходимые для инженерного обследования;
- регламентные требования для проведения инвентаризации и учета результатов инженерных изысканий и инженерного обследования объекта, оценки его уязвимости в сравнении с показателями приемлемого риска и методологии его снижения;
- заполнение паспорта для каждого здания и сооружения, находящееся в зоне паспортизации. Объем данных должен быть достаточным для оценки его сейсмостойкости;
- осуществляется ранжирование (классификация) объектов по степени их уязвимости;
- разработка территориальных каталогов сейсмической уязвимости зданий массовой застройки;
- результаты экспертных оценок затрат на мероприятия по усилению (реконструкции, расширению, перепрофилированию и пр.), в том числе в сравнении с экономическими оценками возможных потерь при сильном землетрясении;
- постоянная паспортизация (мониторинг объекта на всем сроке его эксплуатации) сейсмического состояния зданий и сооружений населенных пунктов, расположенные в сейсмически опасных районах.

Базы данных по паспортизации объектов являются основой для комплексной оценки сейсмического риска, оценки дефицита сейсмостойкости, построения сценариев бедствий.

Актуализированная документация по паспортизации формируется на основании следующих данных:

- необходимые материалы по порядку оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений в системах жизнеобеспечения:

- карты общего сейсмического районирования (ОСР), детального сейсмического районирования (ДСР) и сейсмического микрорайонирования (СМР);
- инженерно-геологические карты, макросейсмические данные по прошлым землетрясениям, официальные прогнозы для данного населенного пункта и района, включая сведения о возможных очагах землетрясений и их параметрах;
- сведения о проведенных инженерных изысканиях на изучаемой территории, а при отсутствии таковых, на соседних участках (для сведения);
- сценарные землетрясения, включая синтезированные акселерограммы воздействий;
- документы по территориальному планированию, касающиеся вопросов обеспечения сейсмобезопасности территорий;
- проектная документация в составе пояснительной записки и основных архитектурно-строительных чертежей, включая планы и разрезы, расчетные и монтажные схемы конструкций, опалубочные чертежи и армирование, узлы сопряжений и пр.;
- первичная рабочая и исполнительная (последующая) строительная документация, включая сертификаты на материалы и конструкции, акты на скрытые работы и приемки, другие документы, характеризующие качество строительно-монтажных работ и внесенные изменения в проект;
- документация периода эксплуатации, в том числе: данные по техническому учету и инвентаризации, акты технического обследования отдельных конструкций, фрагментов и объекта в целом; документы по авариям, результатам анализа последствий землетрясений, проведенным плано-предупредительным ремонтам, усилению, реконструкции, перепланировке и другие аналогичные документы;
- результаты инженерного обследования.

#### **4.4.2 Порядок проведения паспортизации**

Очередность паспортизации объектов определяется в зависимости от их функционального назначения, социально-экономической ответственности и экологических последствий нарушения эксплуатации в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Основанием для первоочередного инженерного обследования и паспортизации являются следующие причины:

- истечение сроков инженерного обследования или нормативных сроков эксплуатации объектов;
- разрушения в строительных конструкциях, выявленные для аналогичных объектов по результатам анализа последствий сильных землетрясений и аварий в других регионах Российской Федерации и за рубежом (официально опубликованные данные или выводы комиссий);
- необходимость оценки состояния конструкций, подвергшихся воздействию стихийных бедствий природного характера, пожара или других техногенных аварий;
- отклонения объемно-планировочных и конструктивных параметров объекта от действующих норм по сейсмостойкому строительству, изменение функционального назначения объекта, выявление отступлений от проекта, снижающих несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;
- увеличение нормируемых природно-климатических (сейсмических, снеговых, ветровых) воздействий и эксплуатационных (проектных) нагрузок на конструкции при перепланировке, модернизации и увеличении этажности объектов;
- выявленные при осмотрах деформации грунтовых оснований, дефекты и повреждения конструкций (например, вследствие силовых, коррозионных, температурных и иных воздействий, в том числе неравномерных осадок фундаментов), которые могут снизить прочностные, деформативные

характеристики конструкций и ухудшить эксплуатационное состояние объекта в целом;

– изменение технологии промышленного производства, реконструкция и техническое перевооружение объектов даже в случаях, не сопровождающихся увеличением нагрузок;

– отсутствие проектно-технической и исполнительной документации по объекту;

– возобновление прерванного строительства объектов при отсутствии консервации или по истечении трех лет после прекращения строительства при выполнении консервации;

– необходимость определения пригодности производственных и общественных объектов для нормальной эксплуатации, а также жилых домов для проживания в них;

– изменение собственника имущества;

– проведение оценки и страхование недвижимого имущества или бизнеса;

– применение при строительстве и реконструкции объекта материалов, конструкций и технологий (далее – строительной продукции), ранее не применявшихся в сейсмических районах и не прошедших в установленном порядке подтверждение на соответствие (пригодность).

Основными направлениями и составляющими работ по паспортизации являются:

– формирование базы пространственных данных по объектам, включая актуализированные материалы, документы и чертежи, необходимые для инженерного обследования;

– регламентные требования для проведения инвентаризации и учета результатов инженерных изысканий и инженерного обследования объекта, оценки его сейсмостойкости (уязвимости) в сравнении с показателями приемлемого риска и методология его снижения;

- результаты экспертных оценок затрат на мероприятия по усилению (реконструкции, расширению, перепрофилированию и пр.), в том числе в сравнении с экономическими оценками возможных потерь при сильном землетрясении;
- заполнение паспорта для каждого здания (сооружения) находящееся в зоне паспортизации. Объем данных должен быть достаточным для заполнения паспорта здания находящегося в зоне паспортизации и составления карт схем;
- осуществляется ранжирование (классификация) объектов по степени их сейсмостойкости, путем разделения их на классы сейсмической уязвимости.

К выполнению работ по паспортизации объектов допускаются специализированные организации и независимые эксперты, обладающие необходимой приборной, инструментальной и программной базой. Квалификация исполнителей обеспечивается на основании соответствующей лицензии и других документов, полученных в рамках действующих систем сертификации услуг.

Гарантирование качества работ по паспортизации обеспечивается путем аккредитации исполнителей, страхования их профессиональной ответственности, осуществляемых на добровольной основе. Порядок аккредитации согласовывается с региональными органами исполнительной власти.

#### **4.4.3 Паспорт сейсмостойкости сооружения**

Паспорт включает в себя 3 раздела: общие положения; оценка сейсмостойкости здания (соответствие нормативным документам); результаты обследований, основанные на проведенных исследованиях: визуальном, детальном и дополнено экспериментально-расчетной частью.

Структура паспорта, состав включаемых в него сведений, актуализированных материалов, схем, чертежей и других документов приведены в Приложении А.

При заполнении паспорта производится сбор информации об объекте.

При этом в качестве исходного материала используют:

- проектно – эксплуатационная документация (при ее наличии);
- карты сейсмического зонирования территории (ОСР, СМР и ДСР);
- нормы по проектированию и строительству в сейсмических районах на дату постройки объекта и на момент обследования;
- результаты изучения рельефа местности, инженерно-геологических изысканий и геометрии здания;
- результаты визуального осмотра;
- результаты детального обследования;
- результаты испытаний, расчетов, исследований (при наличии).

Первая часть паспорта является идентификацией минимальных требований сейсмостойкости к объекту и заполняется на основании подготовительных работ и визуального осмотра (обследования):

- территориальное расположение объекта;
- год постройки, размеры здания, этажность;
- конструктивная схема сооружения, размеры сечений конструкций, их пространственное положение, материал;
- уровень ответственности здания (сооружения);
- исполнение подземной части объекта (подвала);
- наличие ядер жесткости, наличие балконов, лоджий и эркеров;
- исполнение антисейсмических мероприятий (конструкция, расположение, размеры);
- уровень качества строительства подразделяется на: (а) высокий, (б) средний, (в) низкий.

Во второй части паспорта производится уточнение и оценка результатов инженерного обследования, испытаний и расчетов. В случае невозможности точной идентификации характеристик объекта, влияющих на его сейсмостойкость (уязвимость), выбирается их наихудший вариант:



низкое качество строительства, более низкий класс уязвимости и низший уровень технического стояния.

#### **4.4.4 Требования по оформлению сейсмического паспорта**

Степень наполняемости паспорта зависит от проведённых исследований:

- визуальное обследование;
- визуальное и детальное обследование;
- визуальное и детальное обследование, дополненное расчетами (исследованиями, испытаниями).

Структура паспорта, состав включаемых в него сведений, актуализированных материалов, схем, чертежей и других документов приведены в Приложении А.

Оценка технического состояния ОКС определяется в соответствии с [68] и оценивается как нормальное, удовлетворительное, не совсем удовлетворительное, неудовлетворительное и аварийное состояние.

– В случае невозможности точной идентификации характеристик объекта, влияющих на его сейсмостойкость (уязвимость), выбирается их наихудший вариант: низкое качество строительства, более низкий класс уязвимости и низший уровень технического стояния.

Первая часть паспорта заполняется лицом, имеющим образование не ниже среднего специального. Вторая и третья части заполняются лицом с высшим образованием с опытом работы 3 года и более в данной области.

#### **4.4.5 Порядок хранения и предоставления сведений по паспортизации**

Результаты инженерного обследования, включая паспорта объектов, хранятся на бумажных и электронных носителях у заказчика и исполнителей работ в текстовой и графической частях.

При несоответствии записей на бумажном и электронном носителях приоритет имеют записи на бумажном носителе.

Автоматизированные системы по паспортизации объектов на территории субъектов Российской Федерации могут быть гармонизированы с другими государственными информационными системами (земельного кадастра, картографо-геодезического фонда, технического учета и пр.) для обеспечения:

- возможности взаимного обмена документированными сведениями;
- поиска по адресу объекта, координатам земельного участка, кадастровому номеру, наименованию и реквизитам актуализированных документов, карт и схем;
- хранения, обеспечения резервного копирования и защиты сведений;
- актуализации сведений, содержащихся в информационных системах, посредством регистрации и учета новых документов, а также перевода в архивный режим хранения документов, которые в установленном порядке признаны недействующими;
- составления аналитических отчетов по запросам заинтересованных лиц;
- ведения журнала операций, произведенных с соответствующими сведениями.

#### **4.5 Выводы по разделу 4**

По результатам работы в настоящем разделе разработана методика многофакторной оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства, позволяющая произвести уточненную оценку экономического ущерба от потенциального землетрясения в приоритетных регионах, а также определить целесообразность инвестиций и затрат на замещение, реконструкцию и ремонт жилья.

Процедура многофакторной оценки дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства предполагает уточненный анализ факторов дефицита сейсмостойкости (раздел 4.2), на основе проведения процедур обследования (раздел 4.3) и паспортизации (раздел 4.4).

Также разработаны требования и регламент работ при паспортизации.  
Разработана форма паспорта ОКС (Приложение А).

## **5 Апробации критериев и методики оценки дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе жилых зданий нетипового (индивидуального) массового строительства**

### **5.1 Общие положения**

В соответствии с Техническим заданием на разработку НИР, в настоящем разделе приведены результаты апробации, проведенной на примере 4-х пилотных регионов:

- Иркутская область;
- Камчатский край;
- Краснодарский край;
- Чеченская республика.

Для формирования базы данных, Исполнителем были сформированы и разосланы запросы исходных данных по разработанным формам.

Результаты запроса исходных данных по пилотным регионам приведены в Приложении В.

На основе полученных воздействий от каждого единичного землетрясения выполняется оценка степени повреждения каждого ОКС. Рассчитывается его степень повреждения и величина ущерба, и определяется максимальный суммарный уровень ущерба всех ОКС от единичного землетрясения.

Как уже было сказано в предыдущем разделе, в модуль расчета максимального ущерба исходной информацией об ОКС являются географические координаты, фактическая сейсмостойкость ( $S_f$ ) и фактическая кадастровая стоимость ( $C$ ).

После оценки расчетного уровня воздействия от модельного землетрясения для конкретного ОКС, оценивается его уязвимость  $Y$ .

Ущерб  $U_{i,j}$  для  $i$ -ого ОКС от  $j$ -ого модельного землетрясения устанавливается, как произведение уязвимости  $Y_{i,j}$   $i$ -ого ОКС от  $j$ -ого землетрясения и текущей кадастровой стоимости  $i$ -ого ОКС:  $U_{i,j} = Y_{i,j} * C_j$ .

Максимальный ущерб  $U_{max}$  от единичного землетрясения по всей совокупности ОКС определяется по следующей формуле:

$$U_{max} = \max(\sum_j Y_{i,j} C_j) \quad (10)$$

## 5.2 Иркутская область

Исходные данные по Иркутской области насчитывают сведения по 9491 нетиповых ОКС (Приложение В). Суммарная площадь построек составила 30347206 м<sup>2</sup>. Численность населения составляет 2356542 человек.

На рисунке ниже (Рисунок 26) показано расположение ОКС и их кадастровая стоимость.

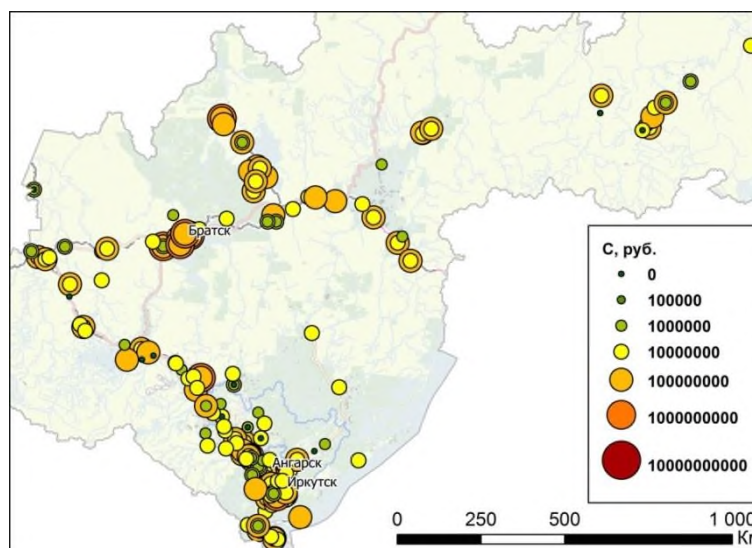


Рисунок 26 – Положение ОКС на территории Иркутской области

В соответствии с описанной ранее методикой в расчетном модуле была выполнена генерация синтетического каталога землетрясений на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015) длительностью 50 000 лет. Всего синтетический каталог насчитывает 1 207 884 землетрясений. Из них 50 491 землетрясения способны вызвать ущерб для ОКС Иркутской области, вошедших в расчет (Рисунок 27).

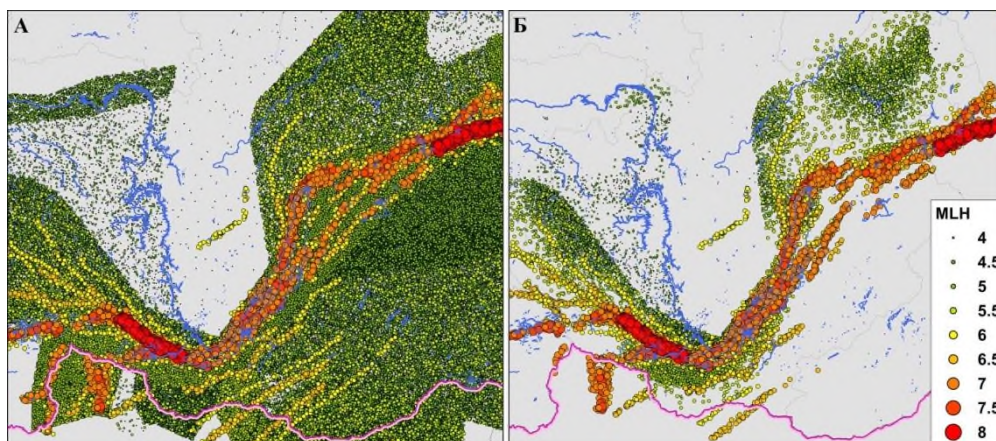


Рисунок 27 – А) Каталог землетрясений, синтезированный на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015); Б) Землетрясения, способные вызвать ущерб для ОКС Иркутской области

На рисунке ниже (Рисунок 28) землетрясения синтезированного каталога дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Иркутской области.

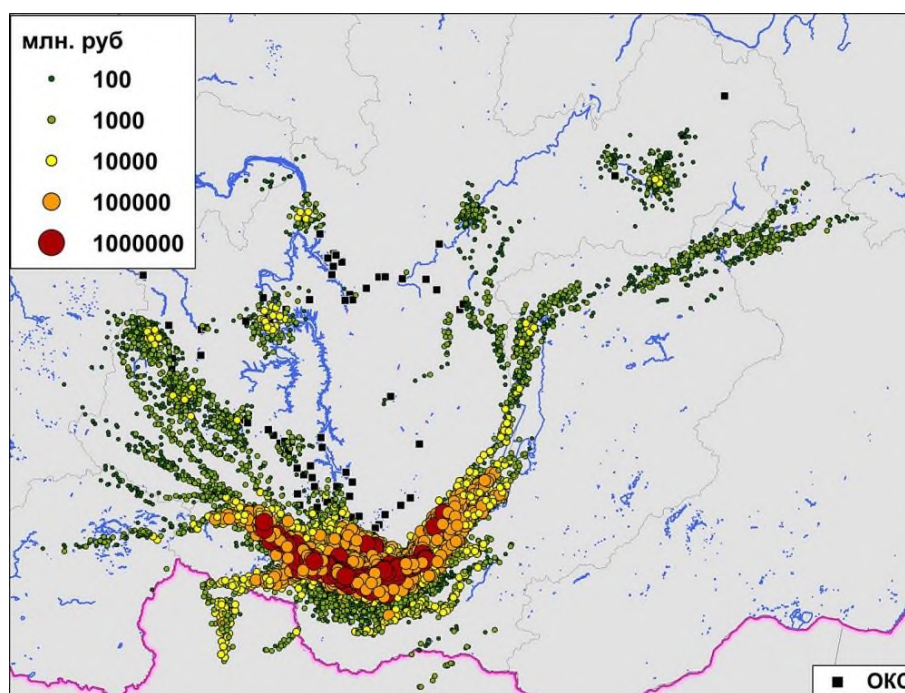


Рисунок 28 – Землетрясения дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Иркутской области

Были рассмотрены все ОКС нетипового массового строительства. Кроме того, в связи с отсутствием данных о дате постройки большинства. Параметры модельных землетрясений, вызвавших максимальный ущерб, приведены в таблице ниже (Таблица 28).

Таблица 28 – Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб

№ лин.	M <sub>ЛН</sub>	Параметры очага				Координаты гипоцентра		
		длина, км	ширина, км	азимут, °	угол падения, °	Lat, °	Lon, °	Z, км
696	7.3	69.41	21.97	260	107	51.85	104.76	7.41

Синтезированный каталог землетрясений был разделен на выборки по 500, 1000, 5000 лет. Оценки максимального вероятного ущерба, по каждой выборке приведены в таблице ниже (Таблица 29).

Таблица 29 – Оценки макс. вероятного ущерба

№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб
1	432 799	21	520 977	41	255 122	61	542 342	81	394 635
2	601 286	22	568 873	42	540 855	62	680 444	82	428 085
3	154 212	23	365 592	43	231 254	63	449 079	83	211 927
4	517 024	24	424 756	44	355 615	64	491 998	84	627 447
5	355 549	25	473 145	45	239 901	65	529 359	85	408 219
6	539 728	26	365 571	46	297 669	66	272 561	86	428 374
7	638 071	27	749 806	47	667 151	67	282 887	87	439 690
8	325 870	28	455 716	48	690 275	68	290 177	88	182 061
9	255 646	29	175 158	49	362 745	69	256 431	89	368 108
10	484 472	30	303 557	50	207 607	70	585 722	90	405 828
11	470 163	31	237 125	51	83 334	71	342 063	91	287 048
12	472 565	32	766 086	52	670 868	72	266 692	92	301 837
13	357 284	33	247 842	53	556 018	73	588 057	93	663 445
14	560 596	34	532 475	54	707 535	74	415 142	94	468 443
15	120 552	35	529 834	55	563 706	75	727 207	95	461 000
16	327 416	36	705 263	56	446 779	76	461 112	96	533 487
17	383 417	37	364 042	57	333 296	77	269 476	97	134 930
18	265 838	38	164 922	58	346 147	78	484 022	98	772 571
19	802 067	39	753 088	59	352 706	79	609 625	99	564 962
20	403 820	40	204 004	60	497 473	80	683 939	100	414 661

Основной ущерб во всех временных выборках обеспечен землетрясениями на линеаментах № 663, 676, 677, 686, 687, 696, 722, описывающих наиболее активную часть Главного Саянского разлома, а также южную часть Байкальской рифтовой зоны (Рисунок 29).

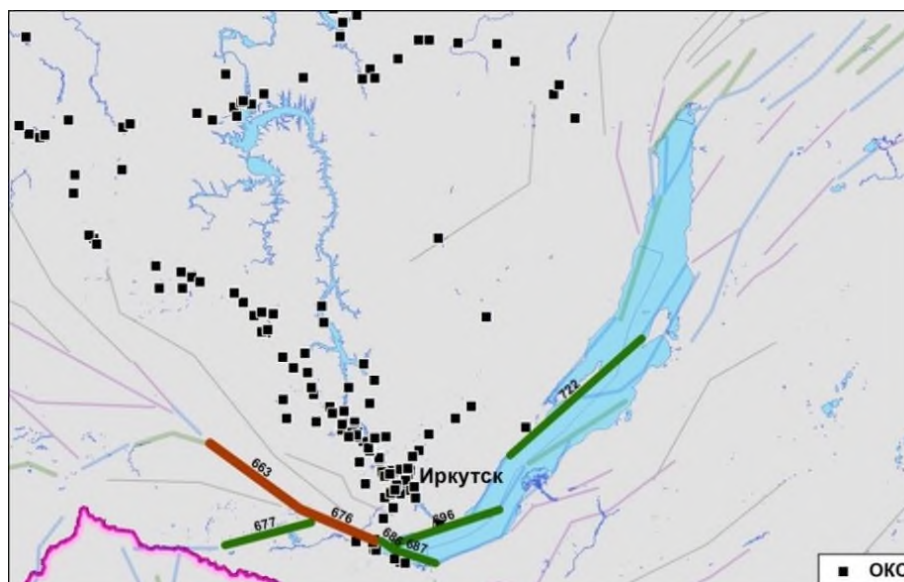


Рисунок 29 – Линеаменты, обеспечивающие максимальный разовый ущерб ОКС Иркутской области

В таблице ниже (Таблица 30) приведены прогнозные оценки ущербов от нормированного и единичного землетрясений, с учетом периодов повторяемости воздействий.

Таблица 30 – Оценки вероятного ущерба

Ущерб от единичного нормированного землетрясения по карте ОСР-А, руб.	<b>344 876 914 704</b>
Ущерб от максимального единичного землетрясения, руб.	<b>666 419 871 796</b>

Таким образом, выполнена апробация разработанного модуля по оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе данных по Иркутской области.

Максимальный ущерб ОКС Иркутской области от разового землетрясения составил **666 419 871 796 руб.**

Оценки ущерба от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет составило:

ОСР-2015-А (500 лет) – **344 876 914 704 руб.**

Результаты расчета ущерба приведены в Приложении Г.

Ниже приведены результаты анализа и обработки полученных данных в соответствии с разработанной методикой и критериями.



На рисунках (Рисунок 30 – Рисунок 57) приведены результаты анализа полученных данных расчета по ОКС Иркутской области от разового максимального землетрясения.

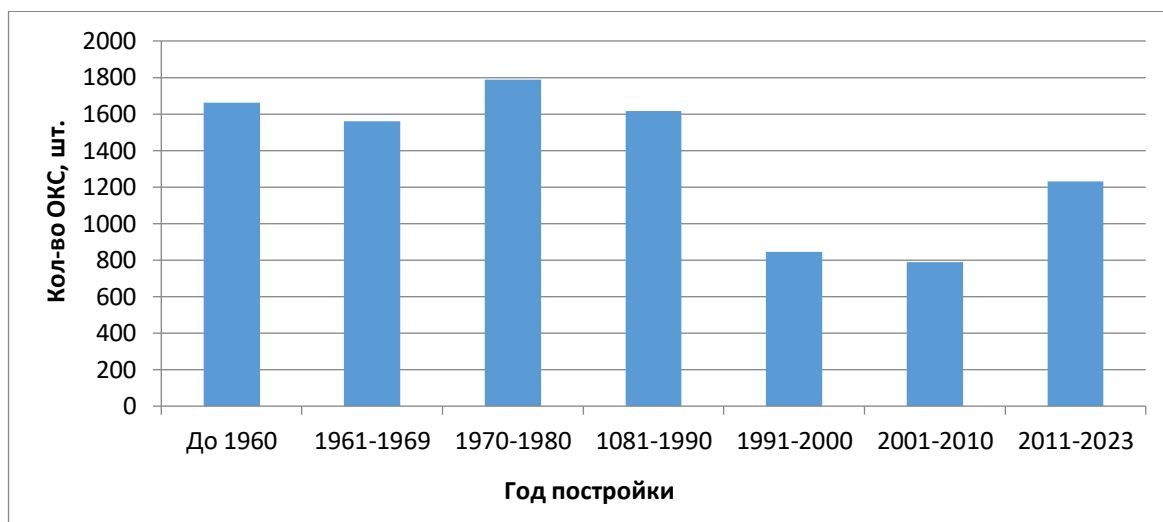


Рисунок 30 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки

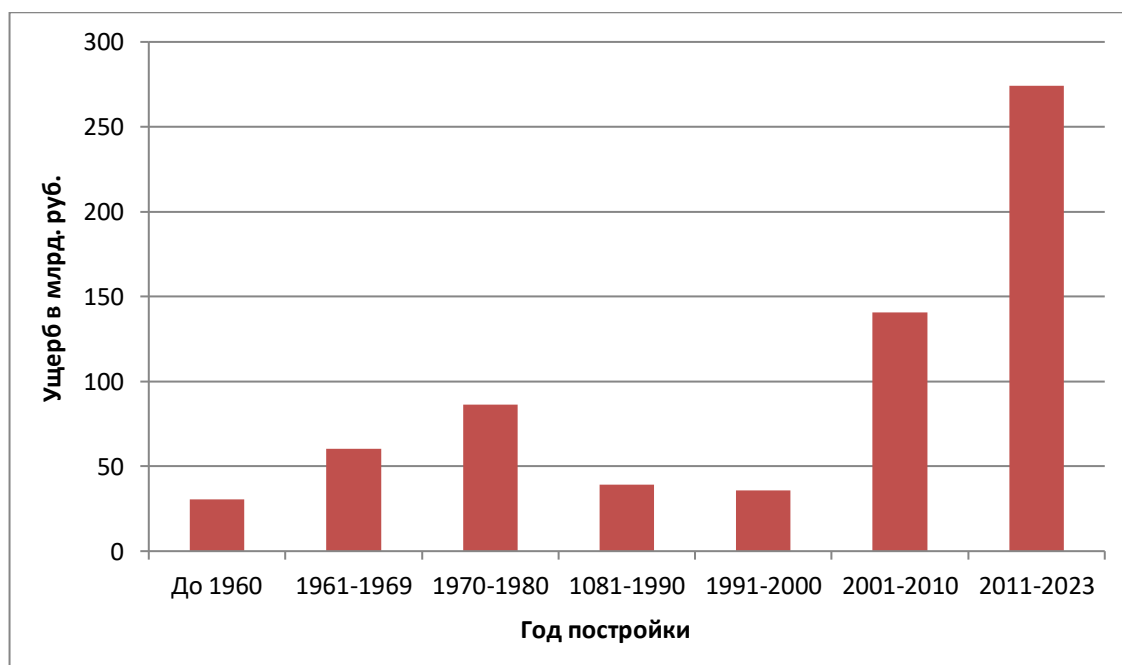


Рисунок 31 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

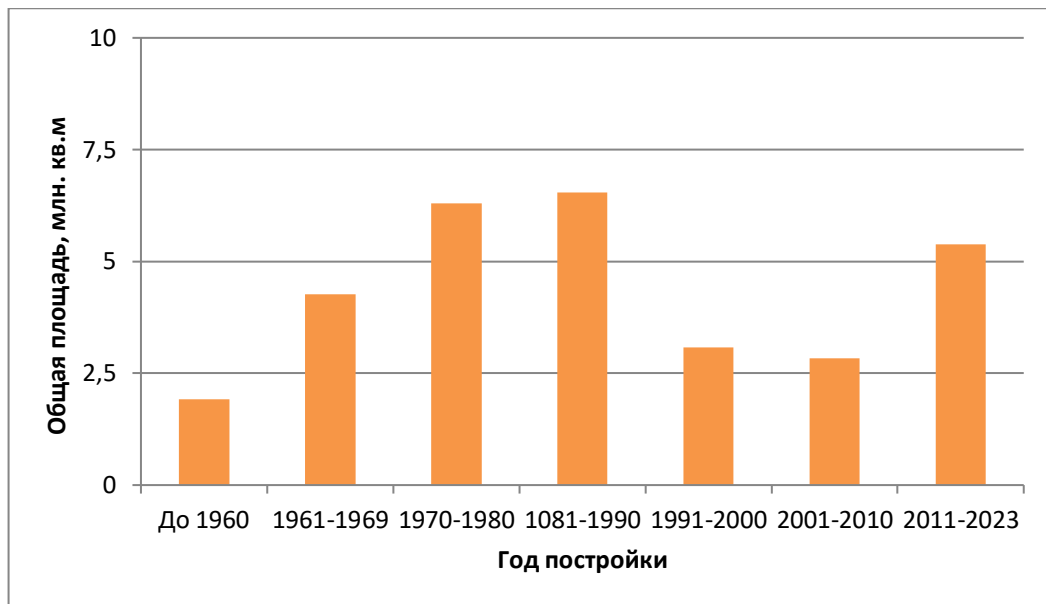


Рисунок 32 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки

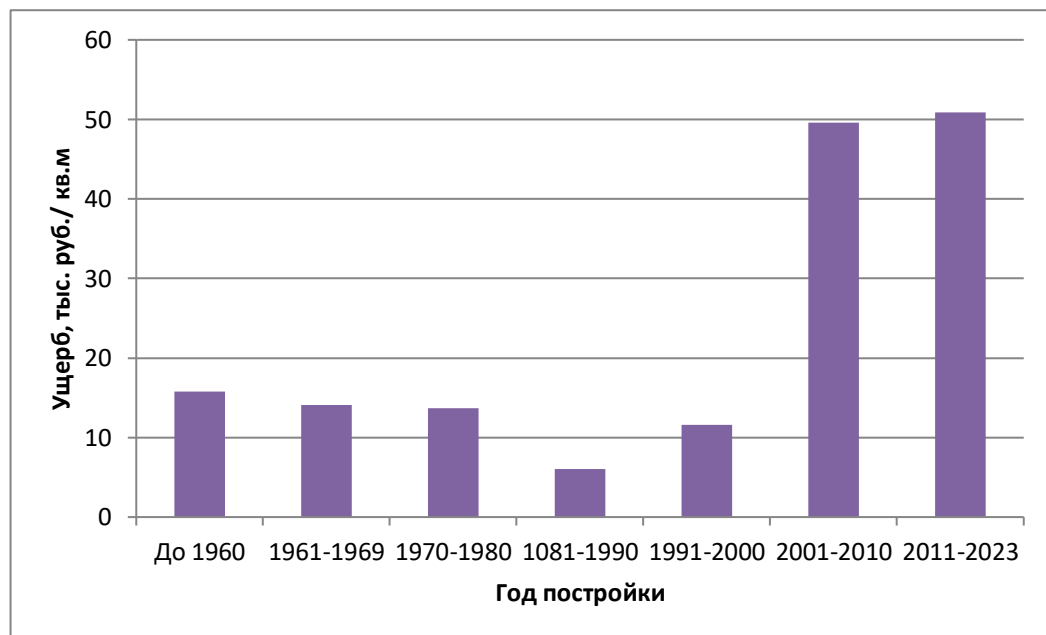


Рисунок 33 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки

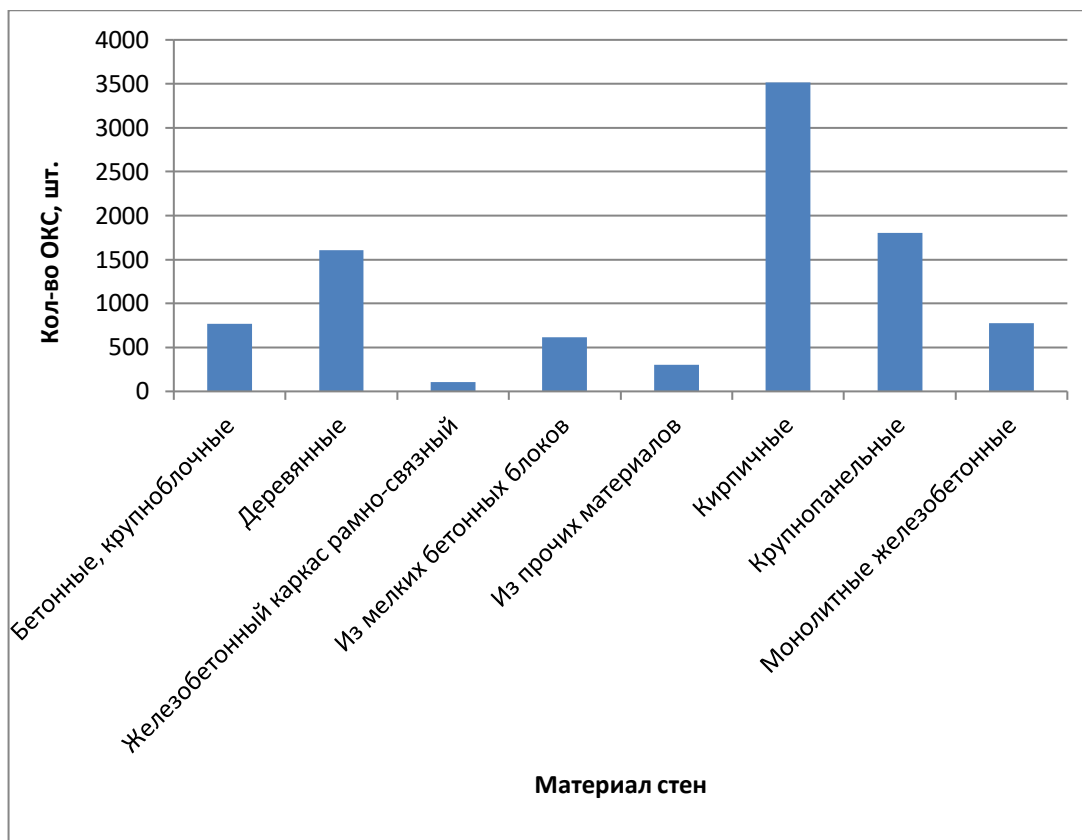


Рисунок 34 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

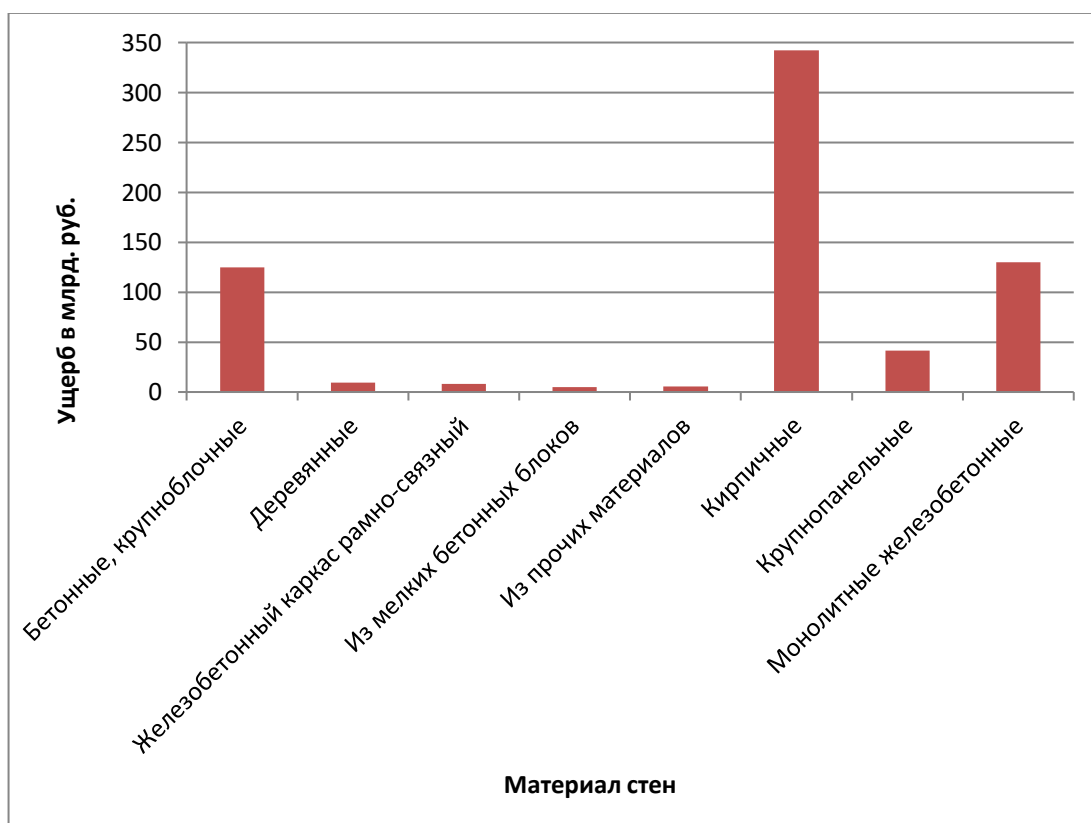


Рисунок 35 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

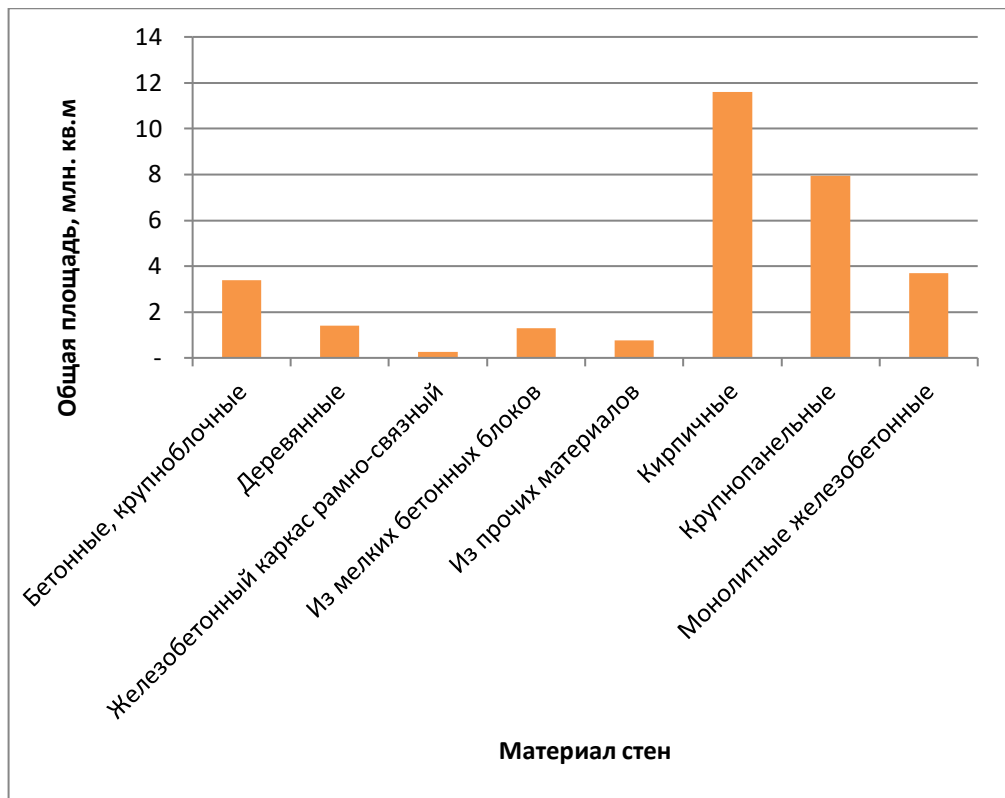


Рисунок 36 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

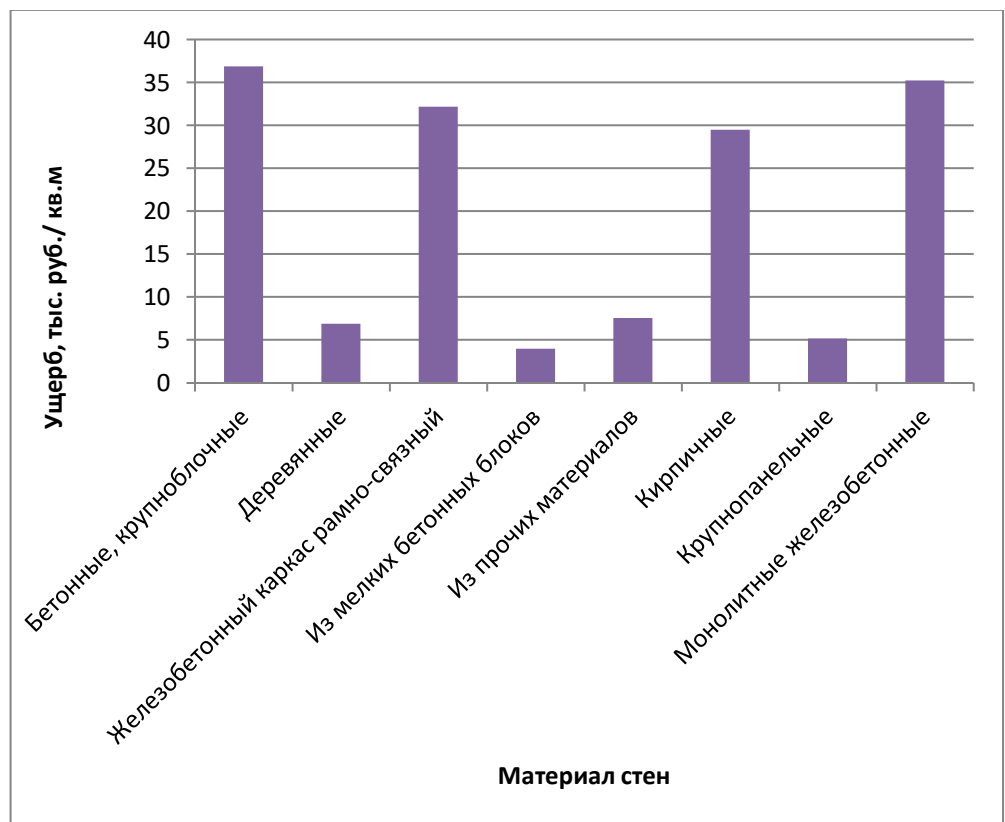


Рисунок 37 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

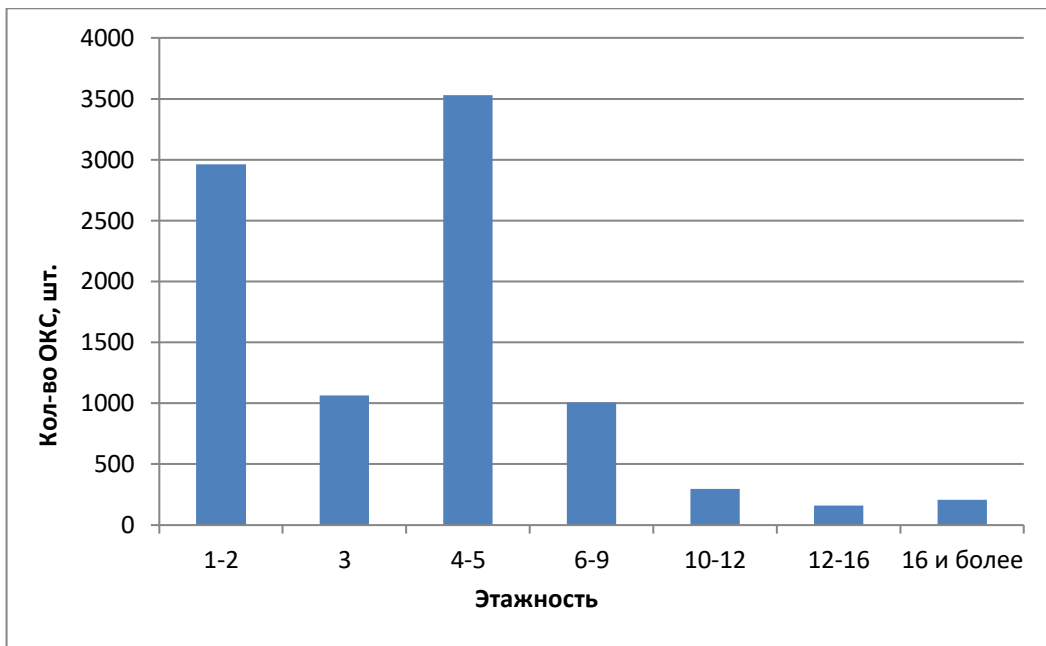


Рисунок 38 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

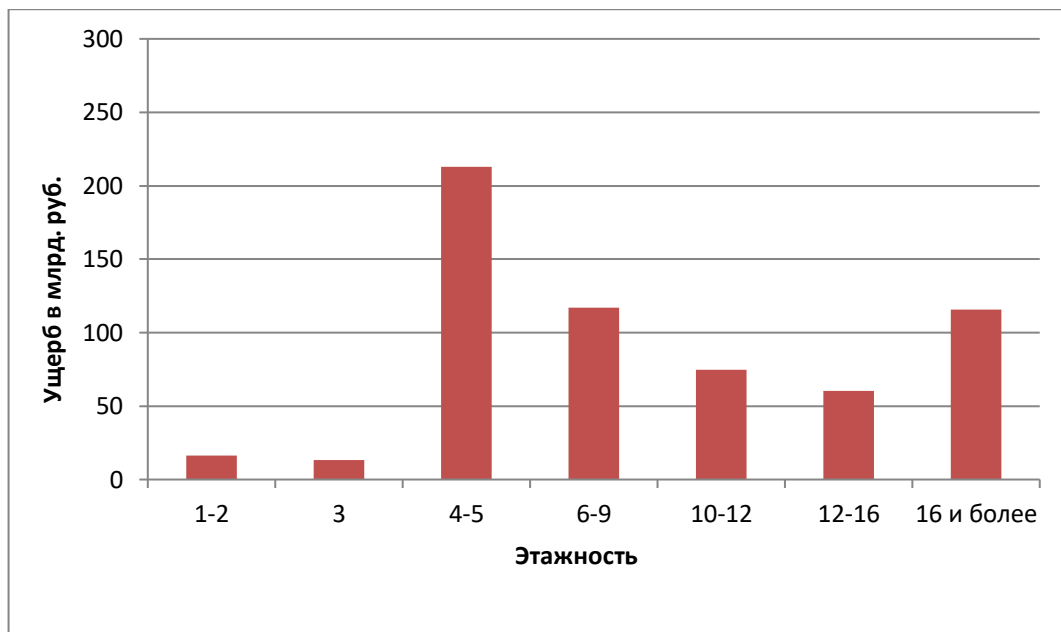


Рисунок 39 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

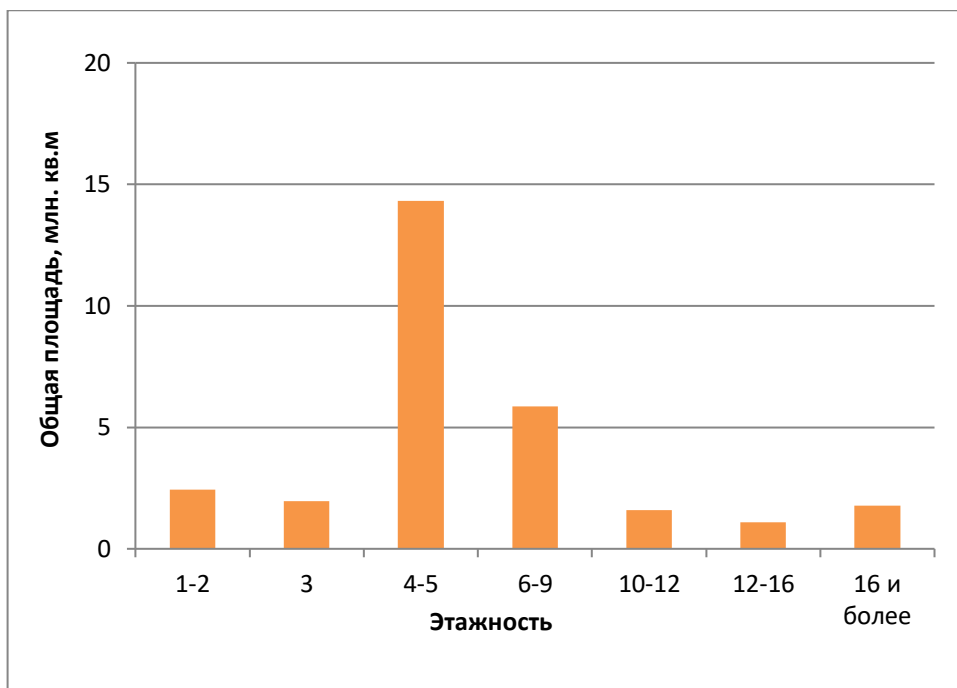


Рисунок 40 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

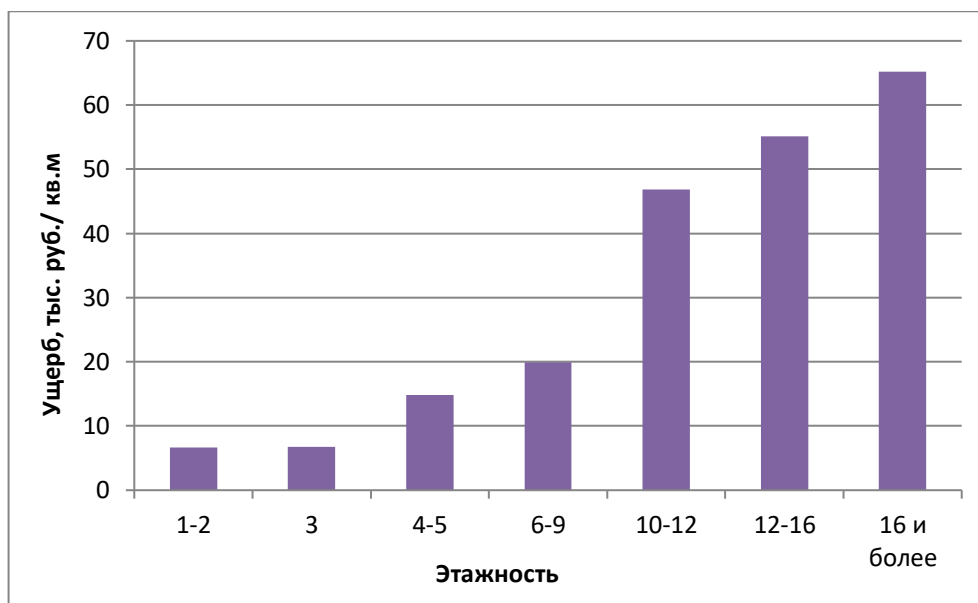


Рисунок 41 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

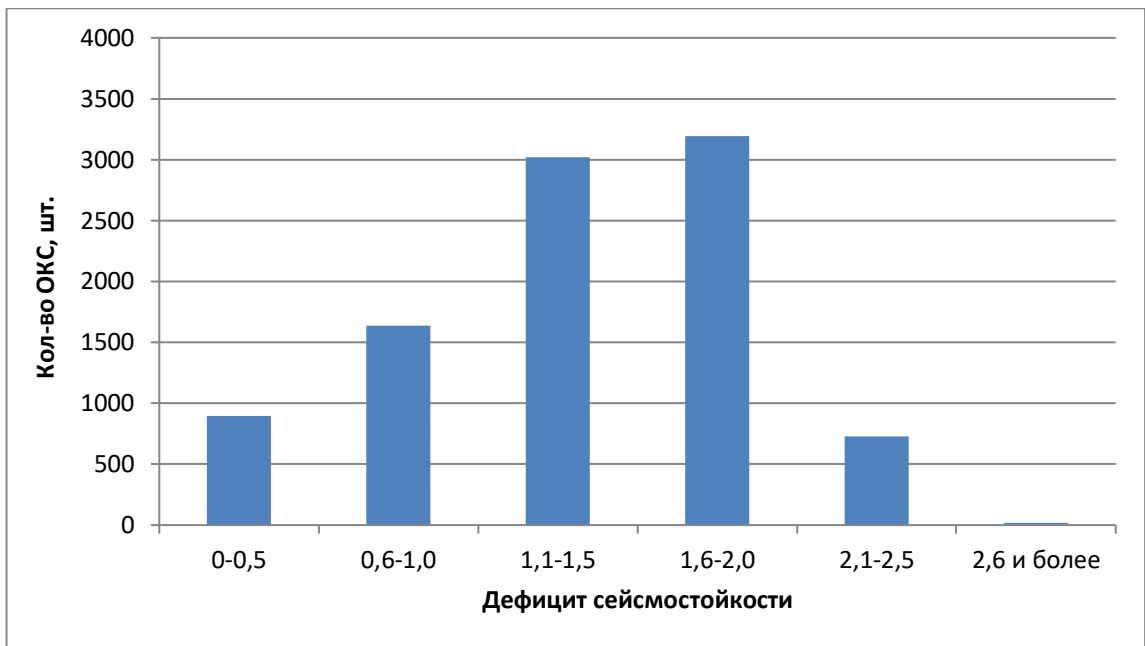


Рисунок 42 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

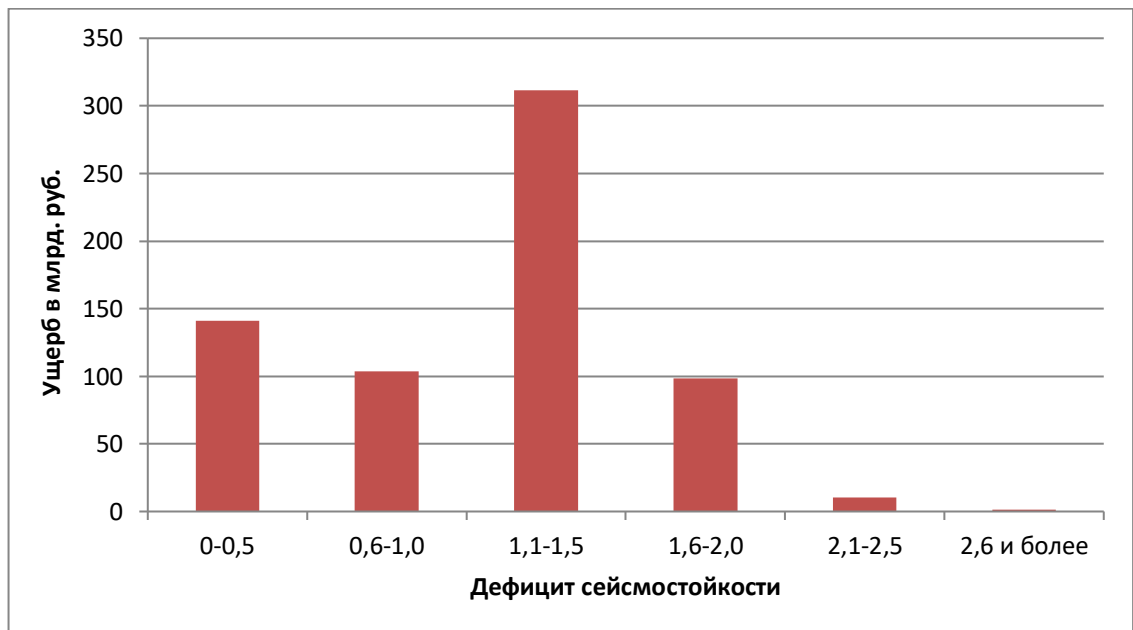


Рисунок 43 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

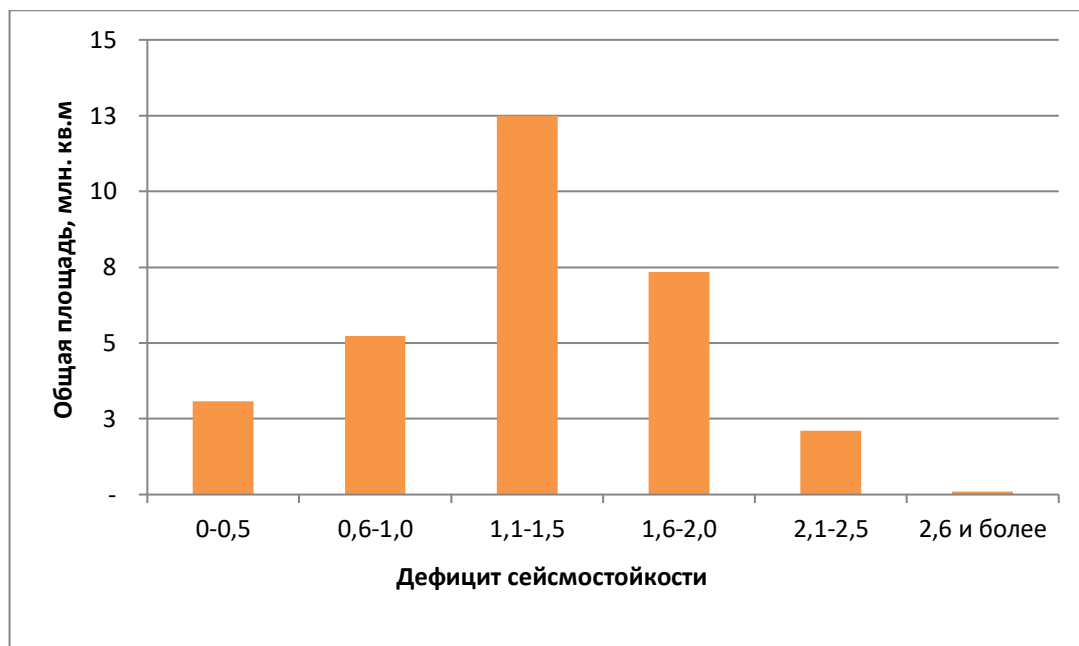


Рисунок 44 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

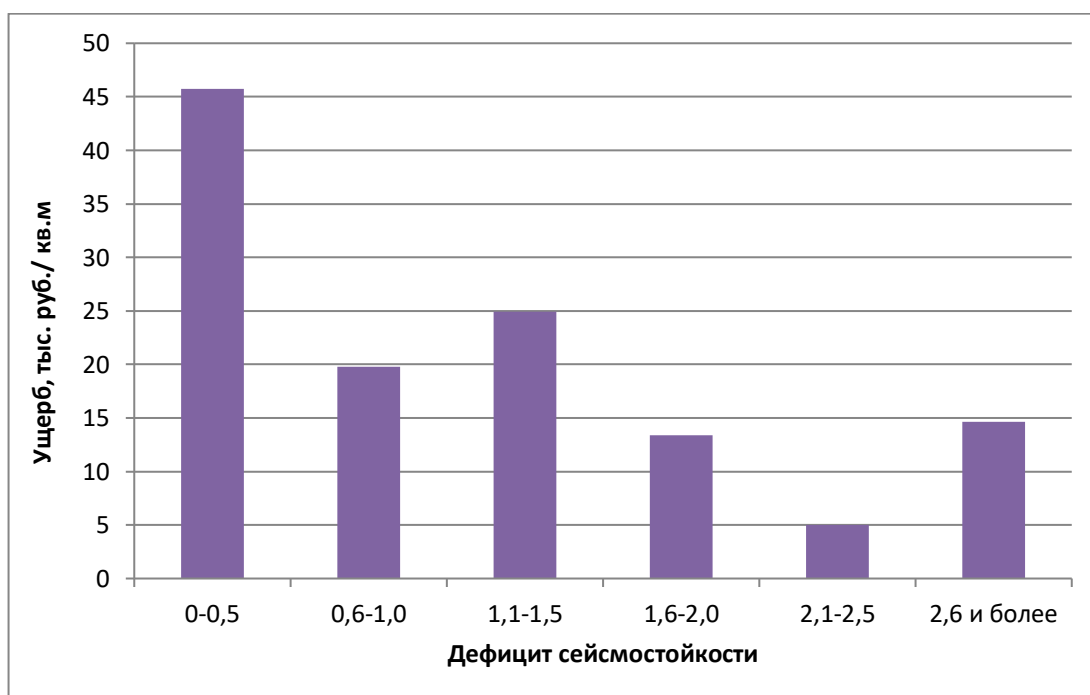


Рисунок 45 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости



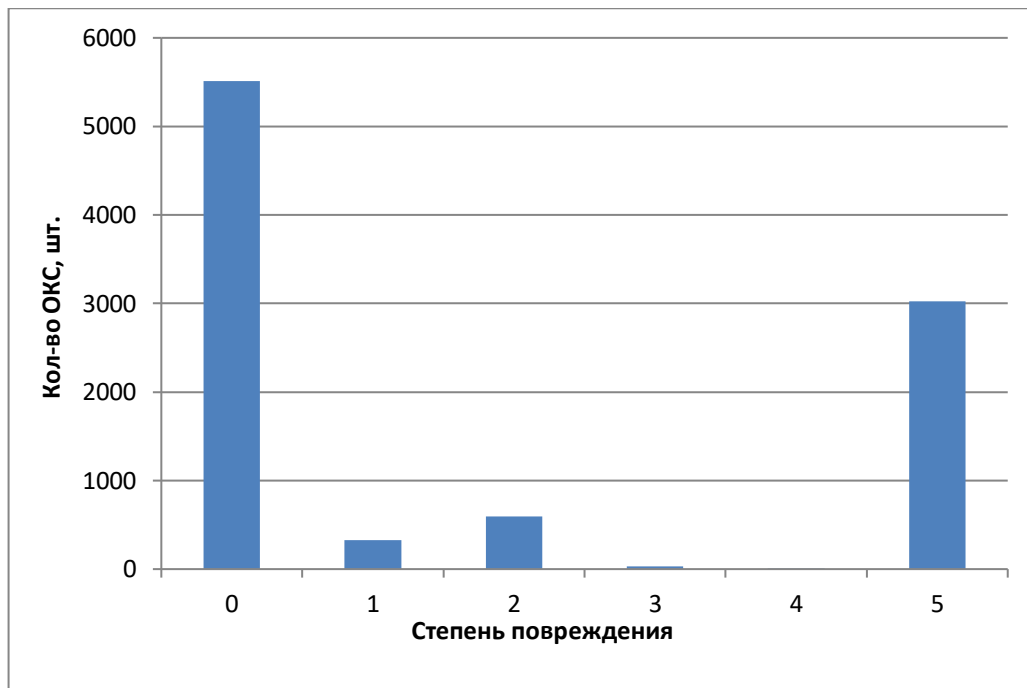


Рисунок 46 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения

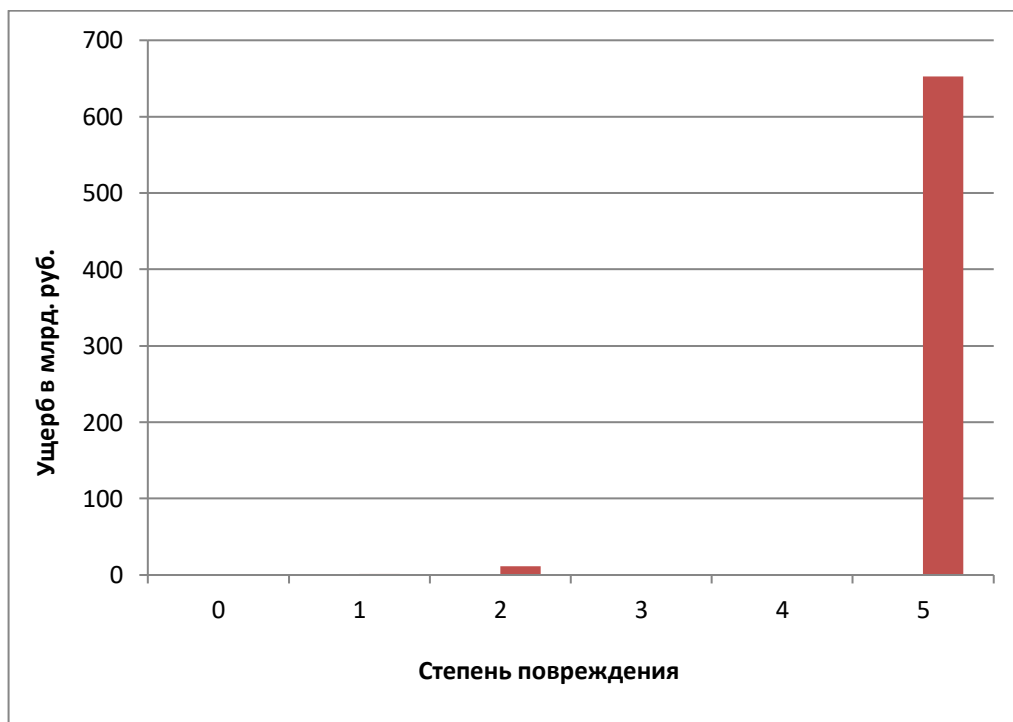


Рисунок 47 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения

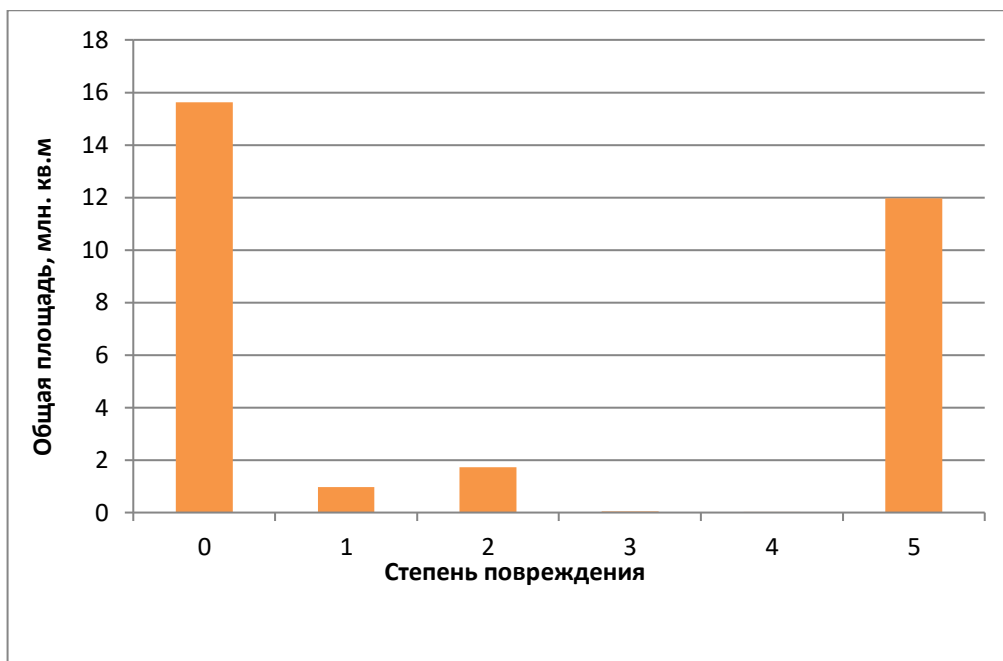


Рисунок 48 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

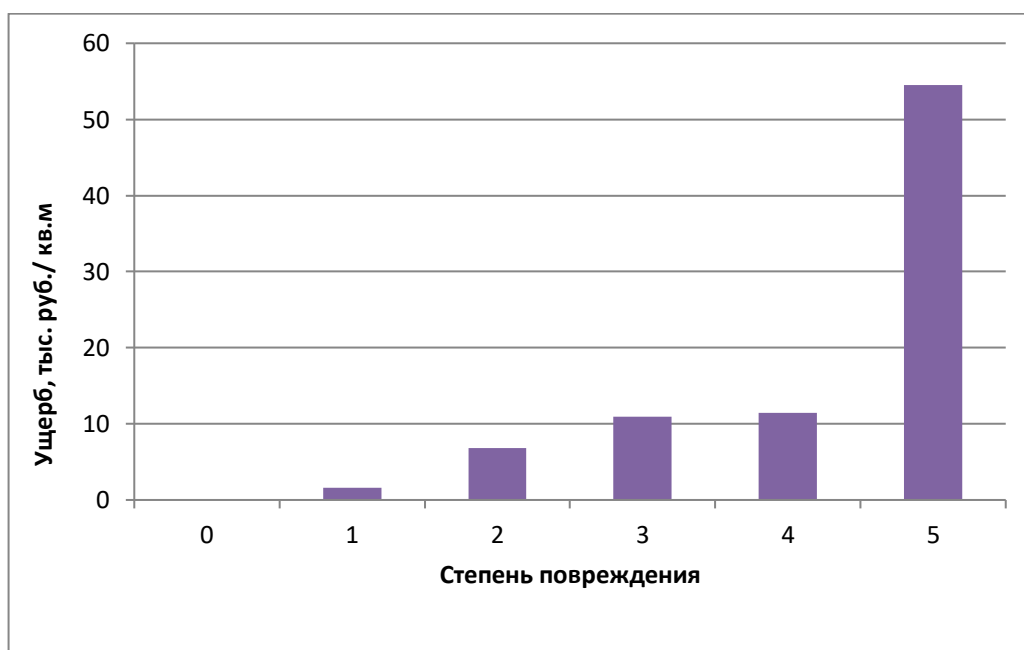


Рисунок 49 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

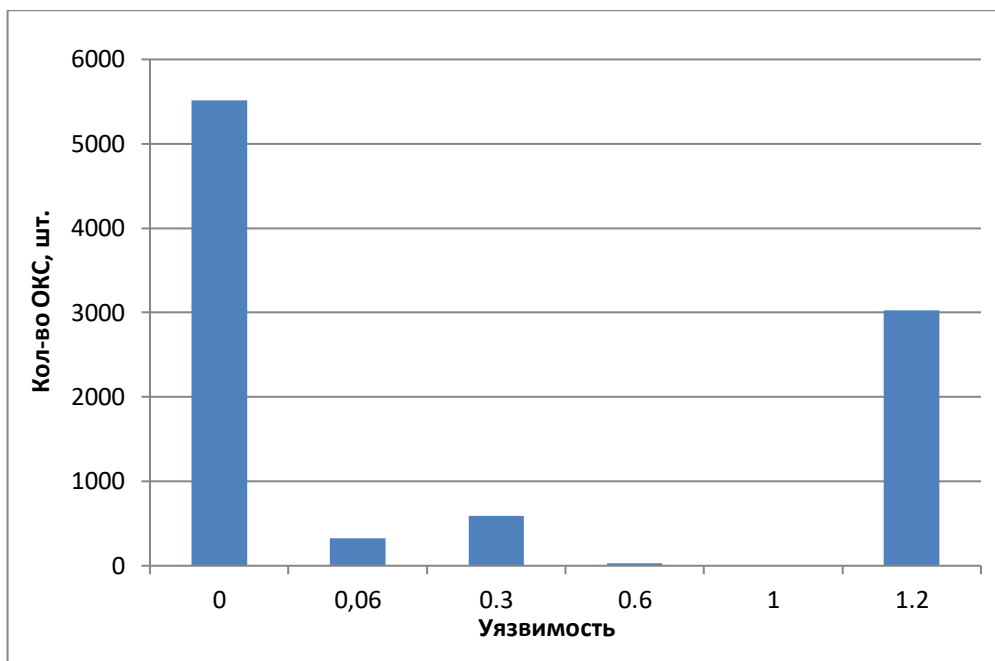


Рисунок 50 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

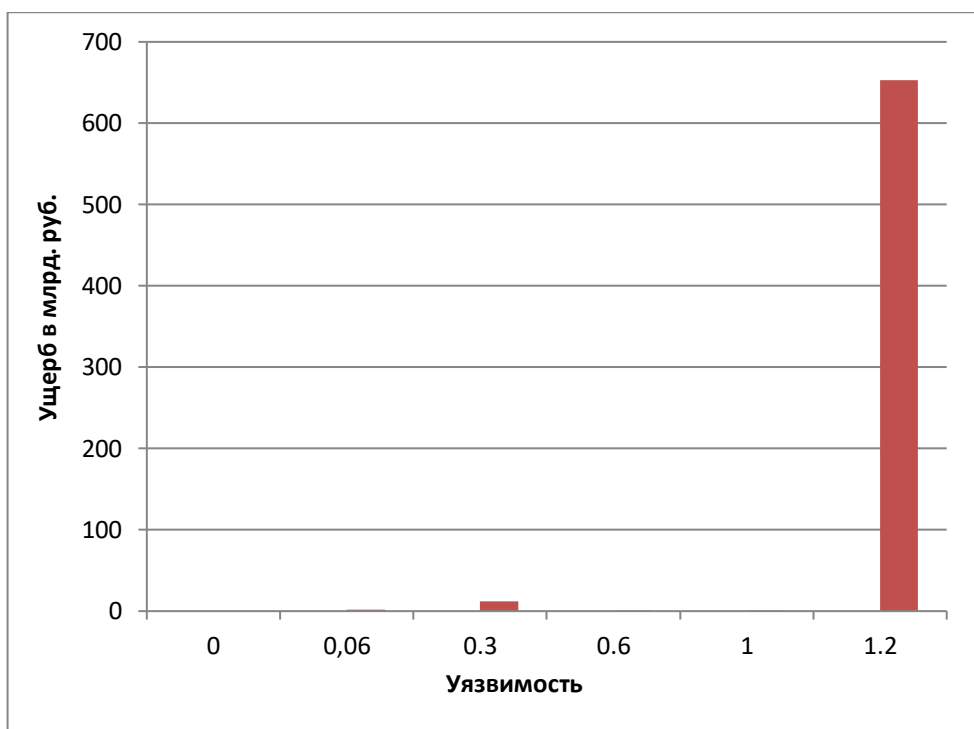


Рисунок 51 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

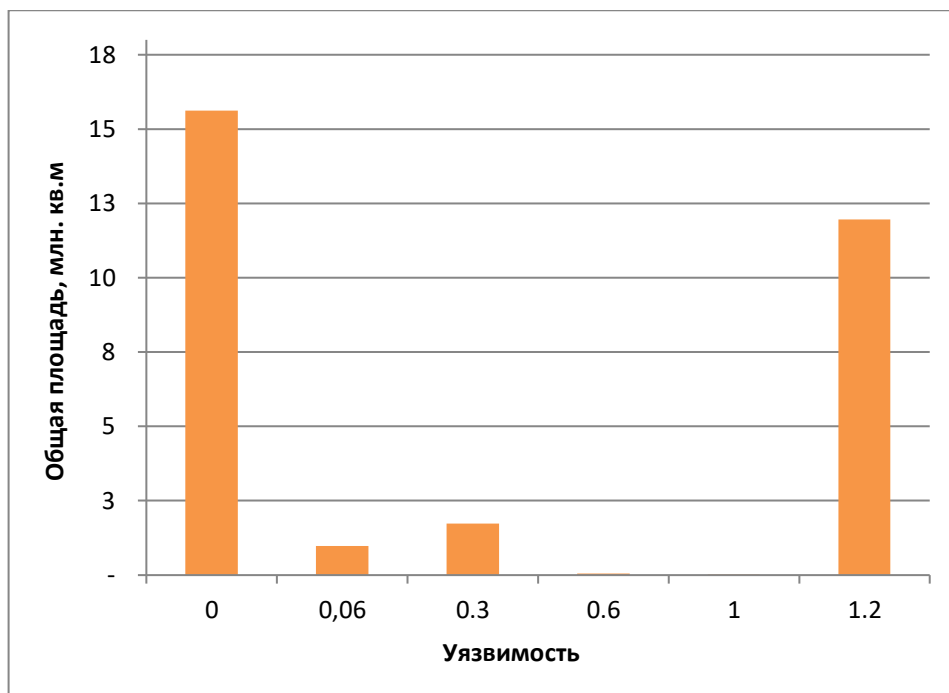


Рисунок 52 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

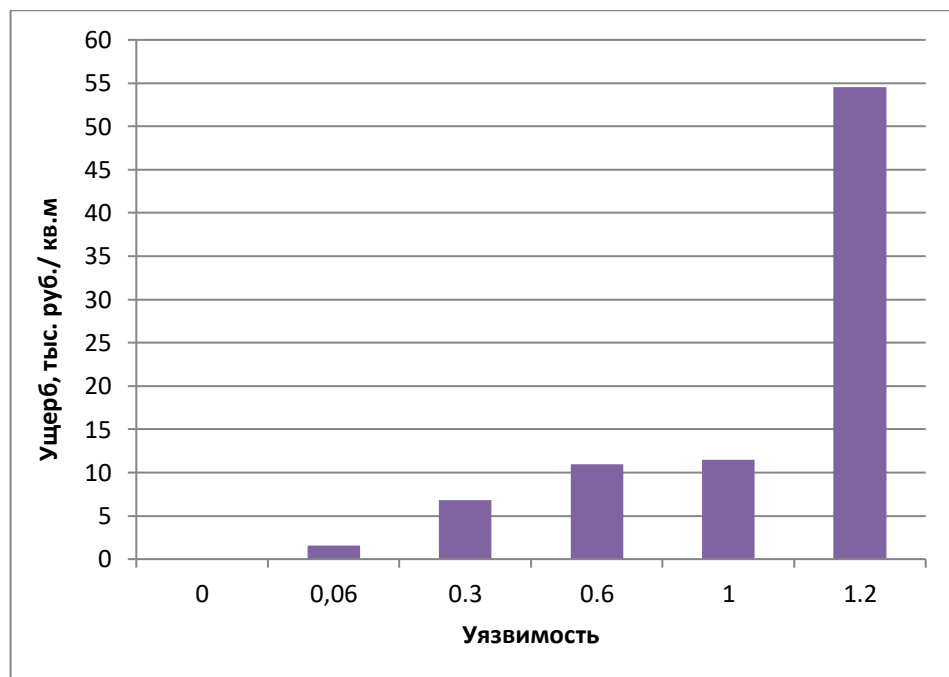


Рисунок 53 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью



Рисунок 54 – Количество единиц ОКС в соответствии с балльностью повреждения

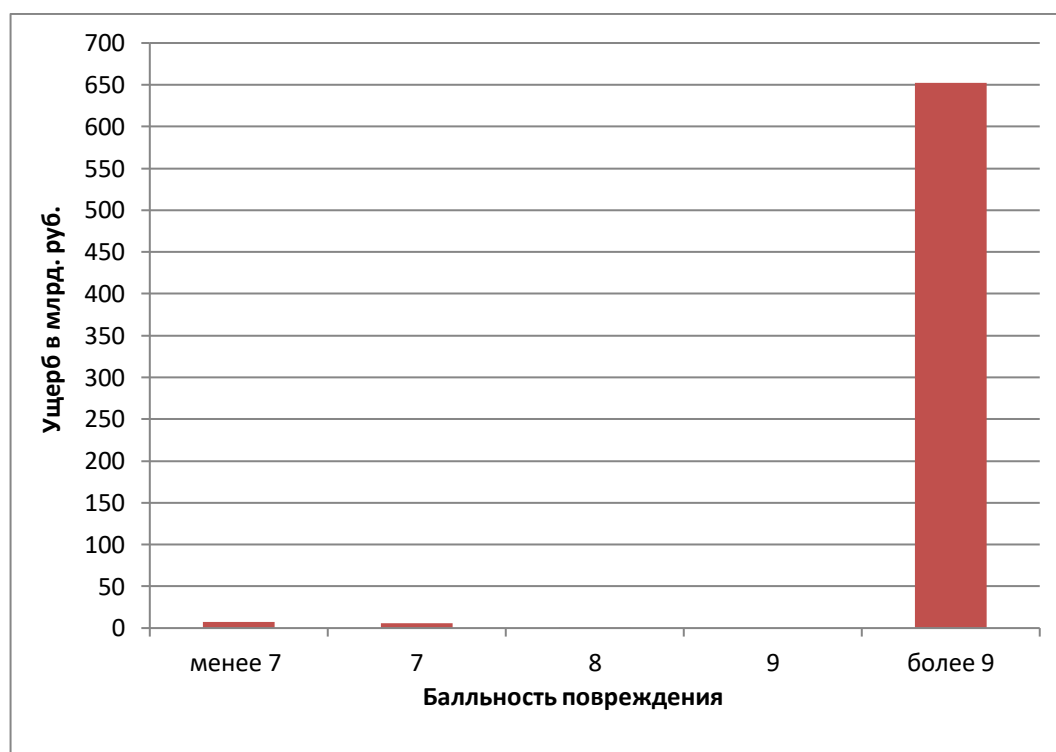


Рисунок 55 – Величина ущерба в соответствии с балльностью повреждения

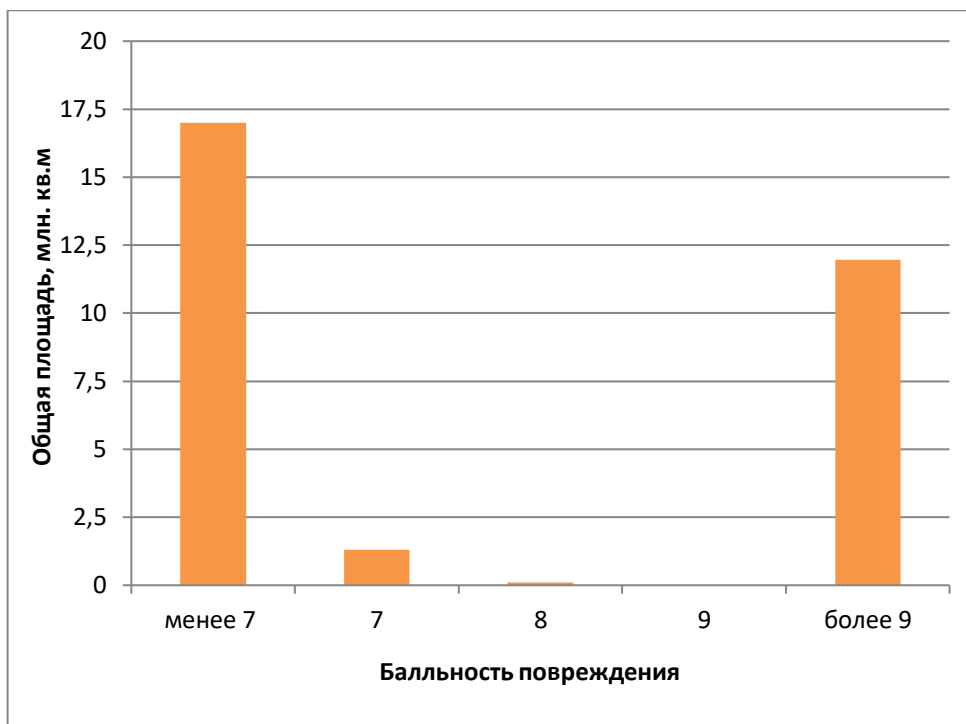


Рисунок 56 – Количество жилой площади в соответствии с балльностью повреждения

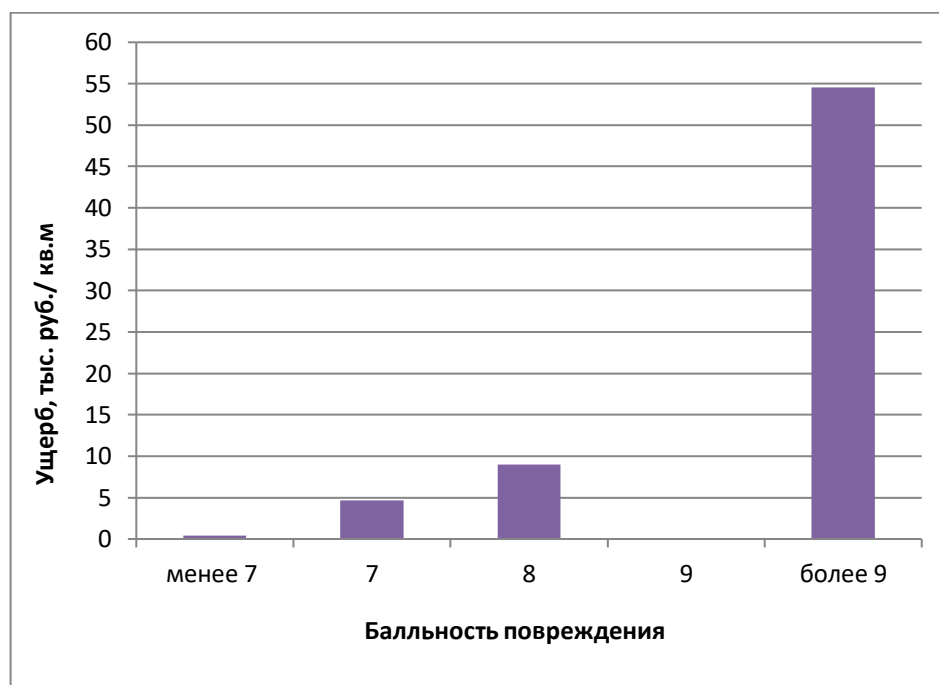


Рисунок 57 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с балльностью повреждения

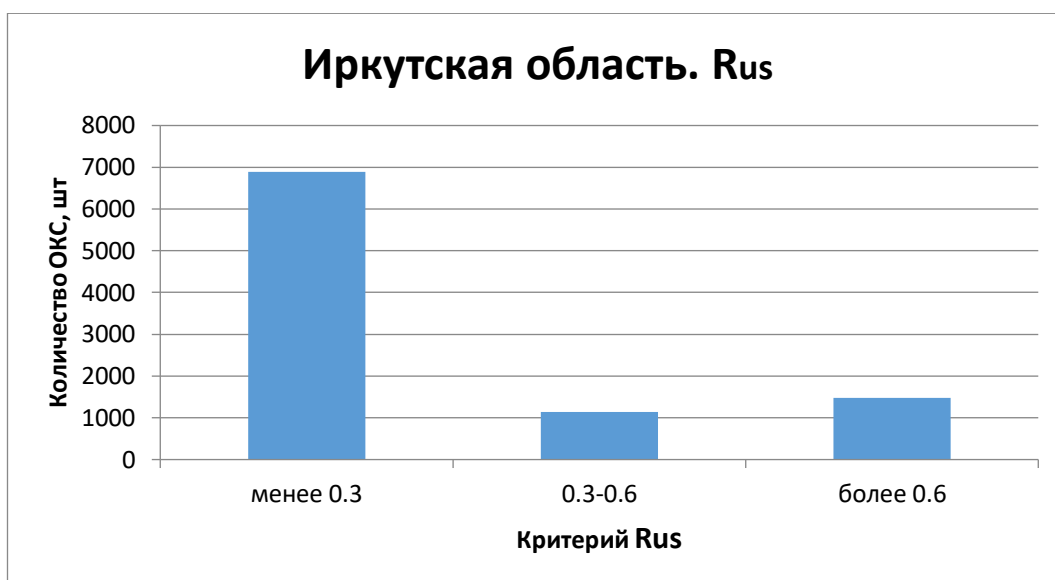


Рисунок 58 – Классификация ОКС по критерию  $R_{us}$

На рисунках (Рисунок 59 – Рисунок 82) приведены результаты анализа полученных данных расчета ОКС Иркутской области от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет ОСР-2015-А.

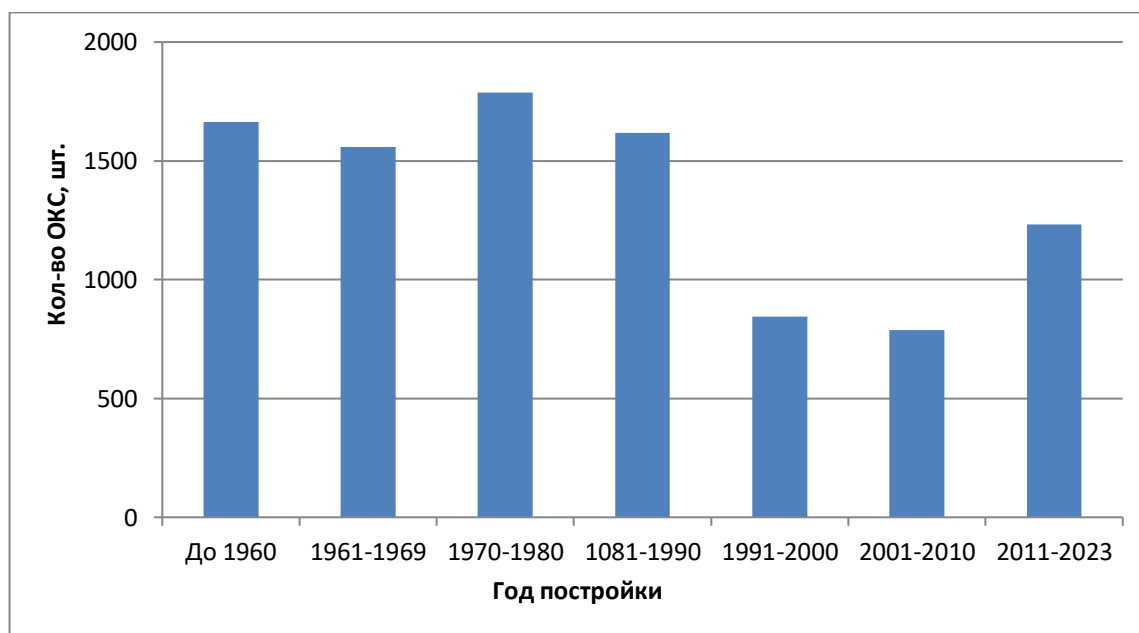


Рисунок 59 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки

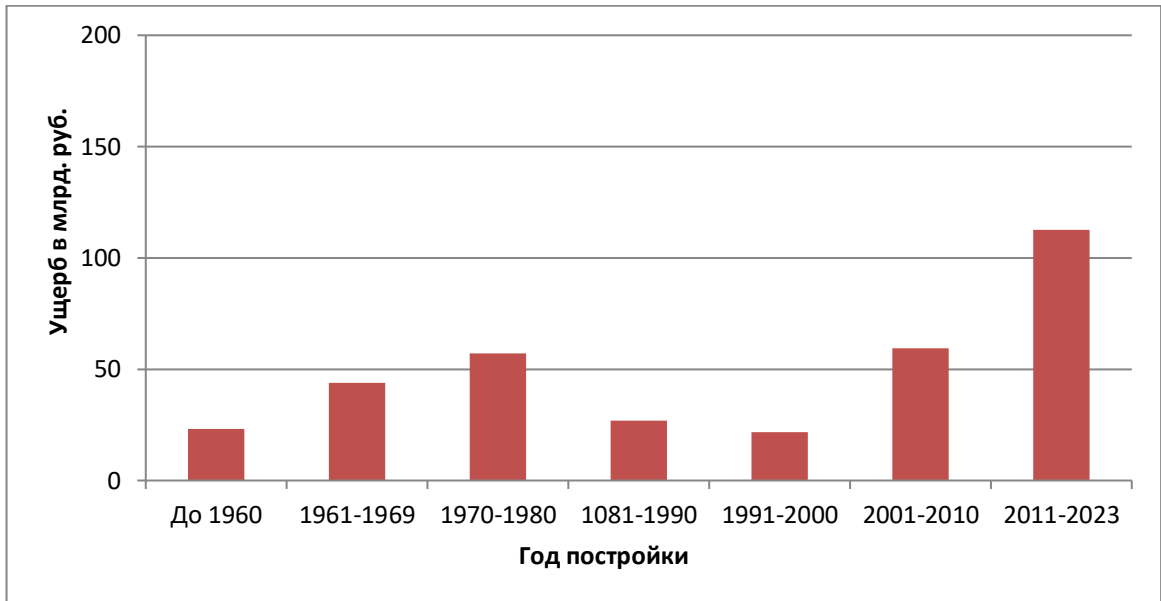


Рисунок 60 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

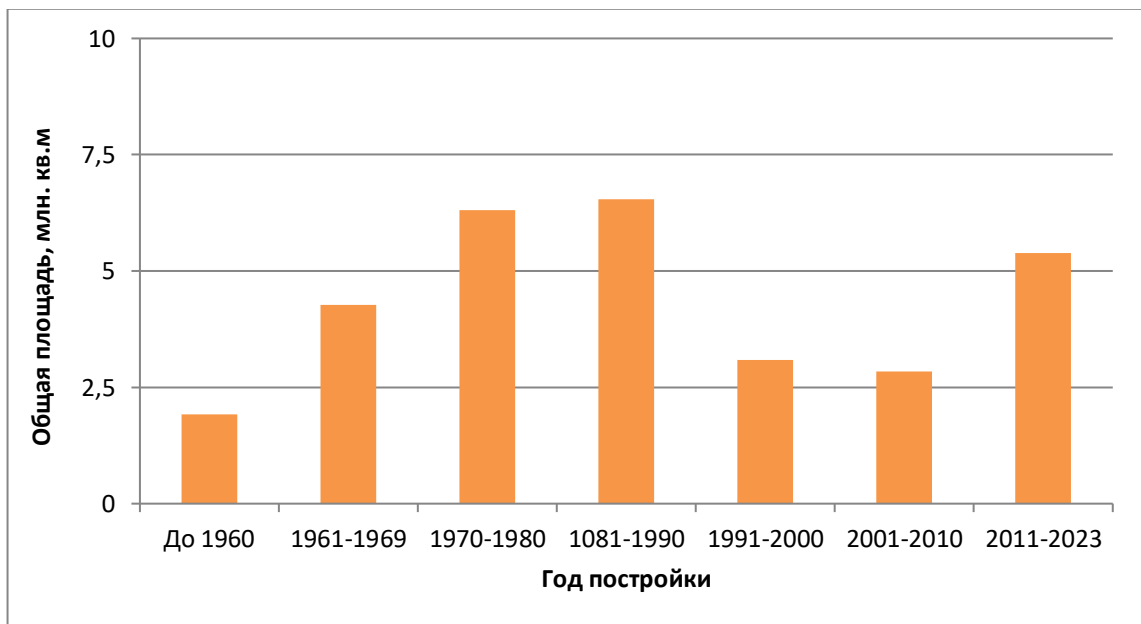


Рисунок 61 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки



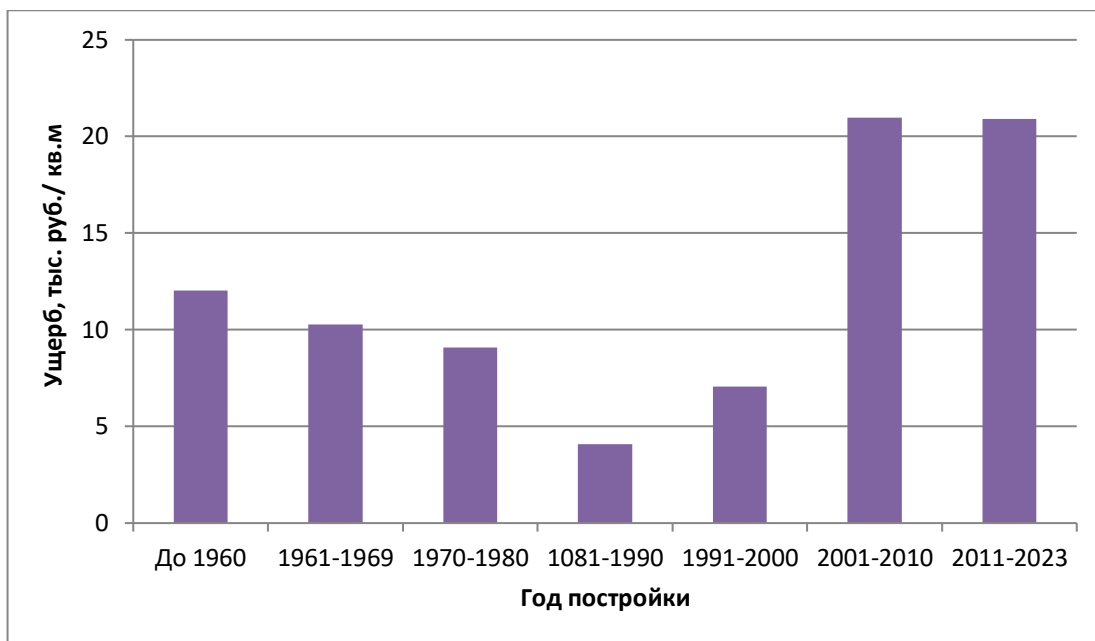


Рисунок 62 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки

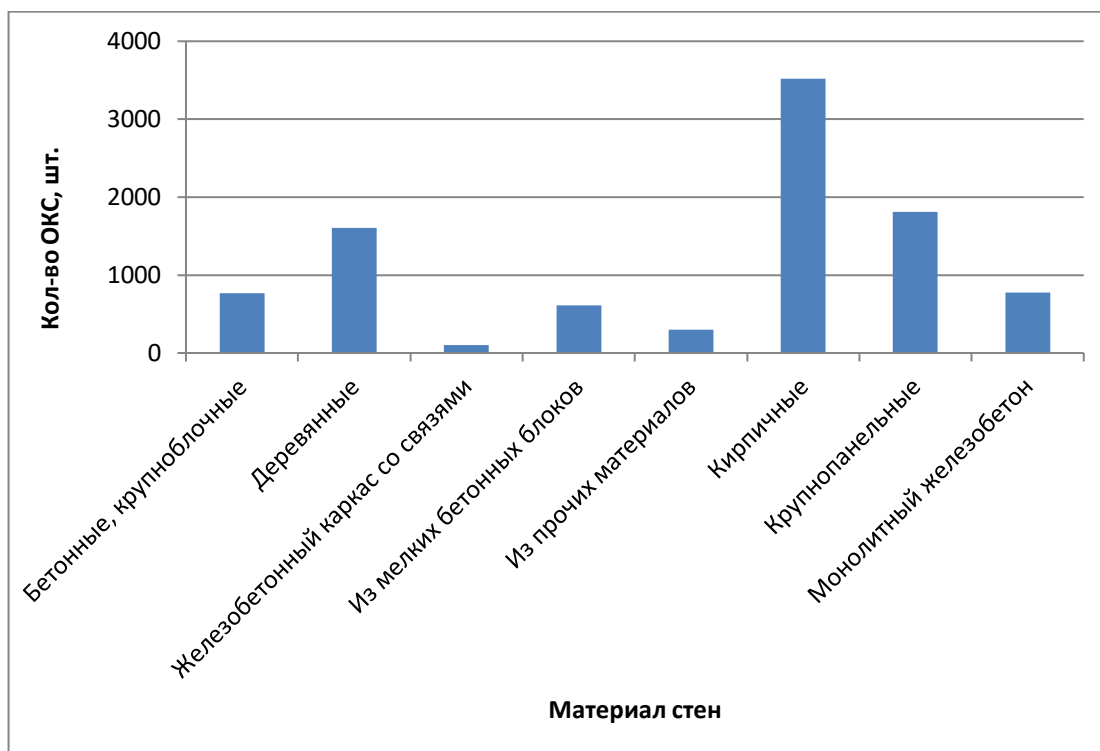


Рисунок 63 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

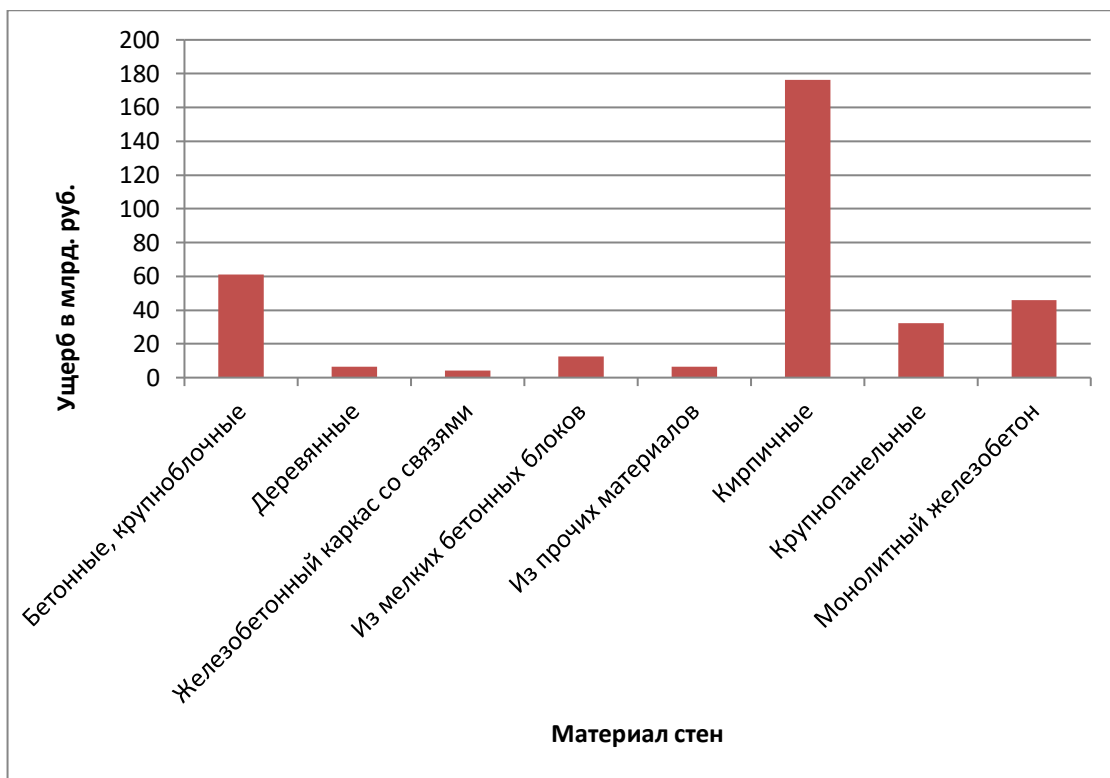


Рисунок 64 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

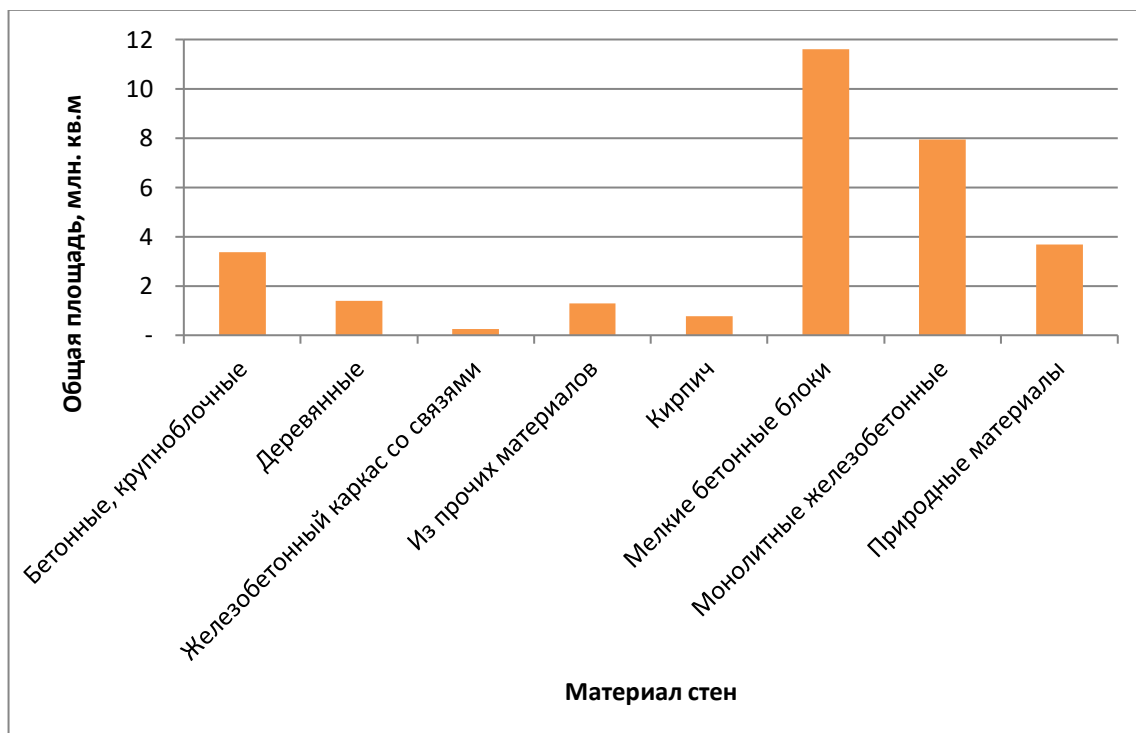


Рисунок 65 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

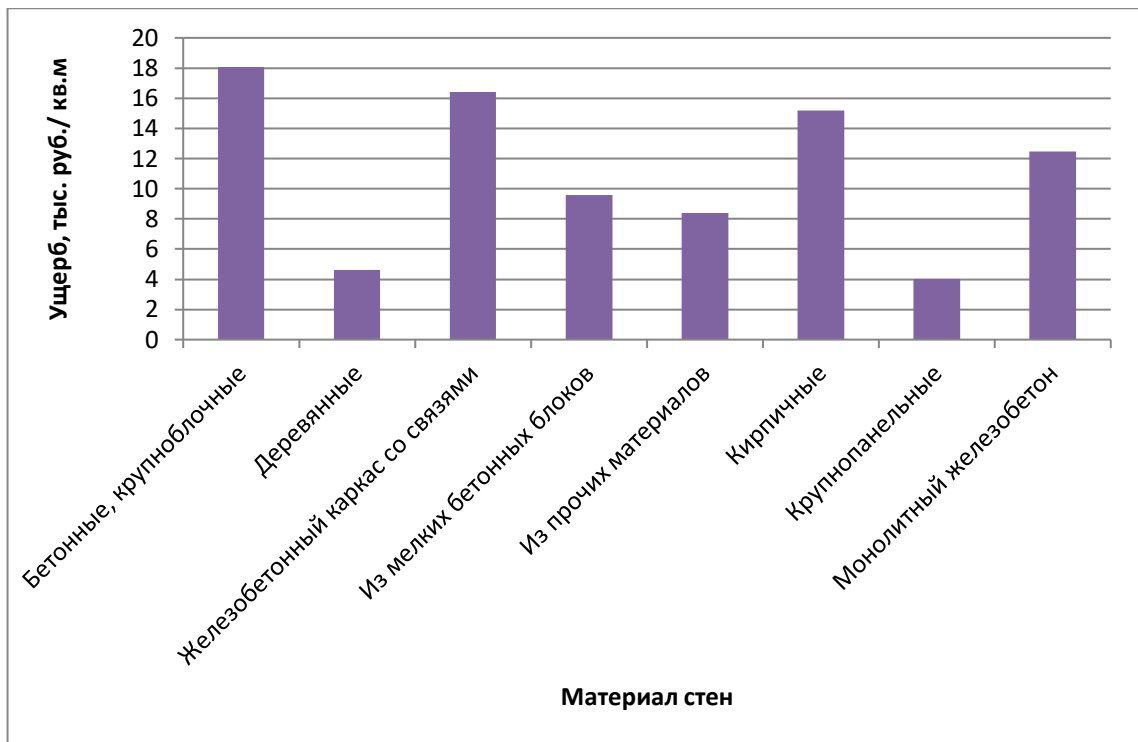


Рисунок 66 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

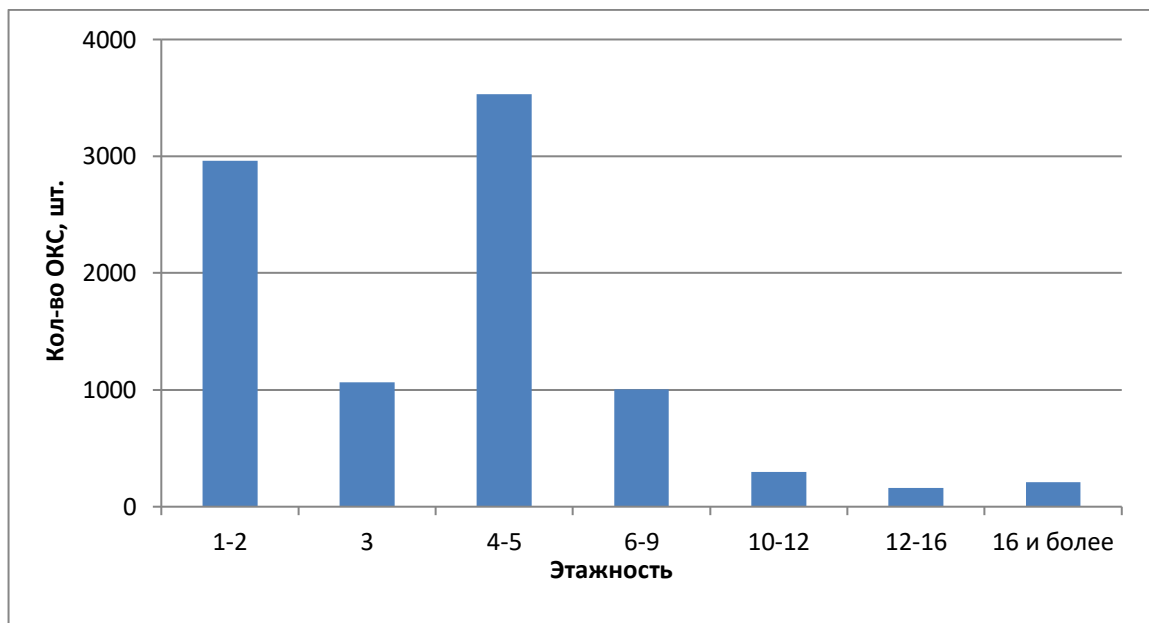


Рисунок 67 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

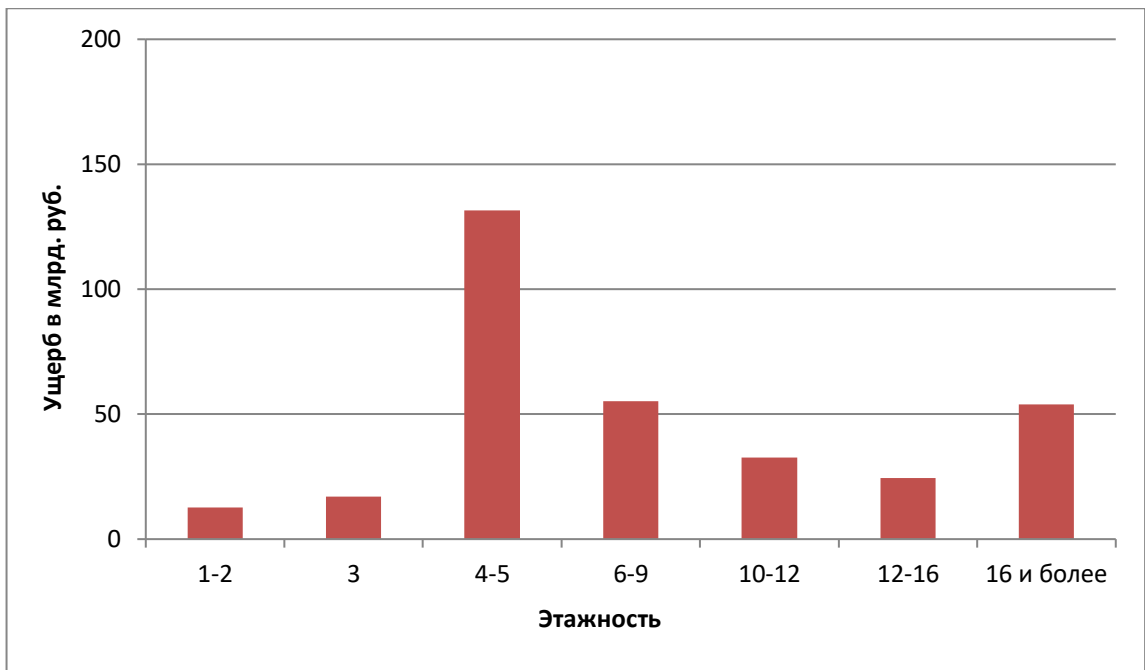


Рисунок 68 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

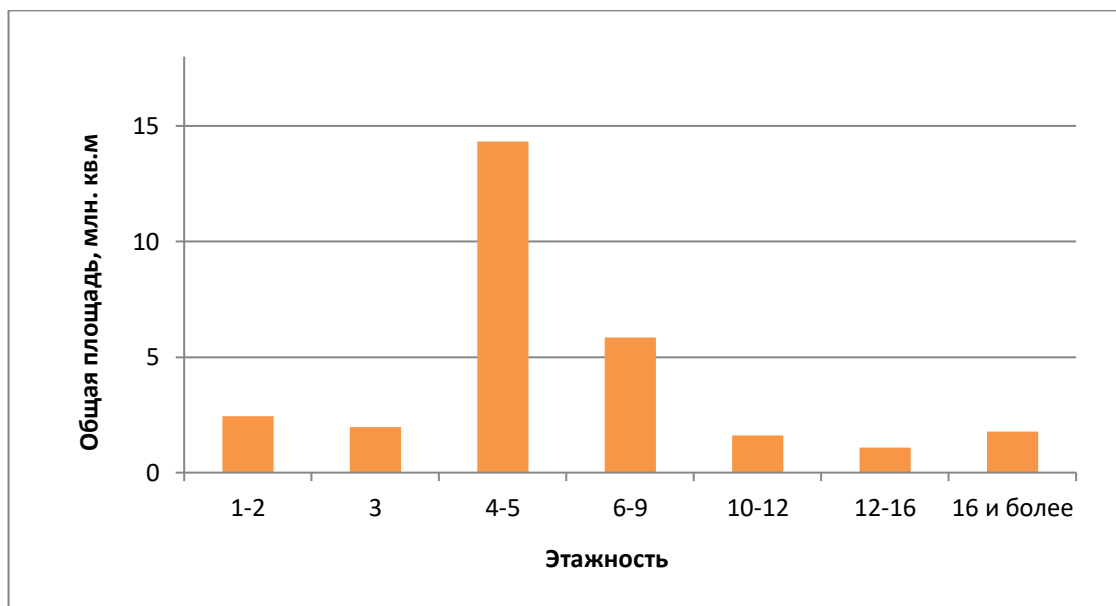


Рисунок 69 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

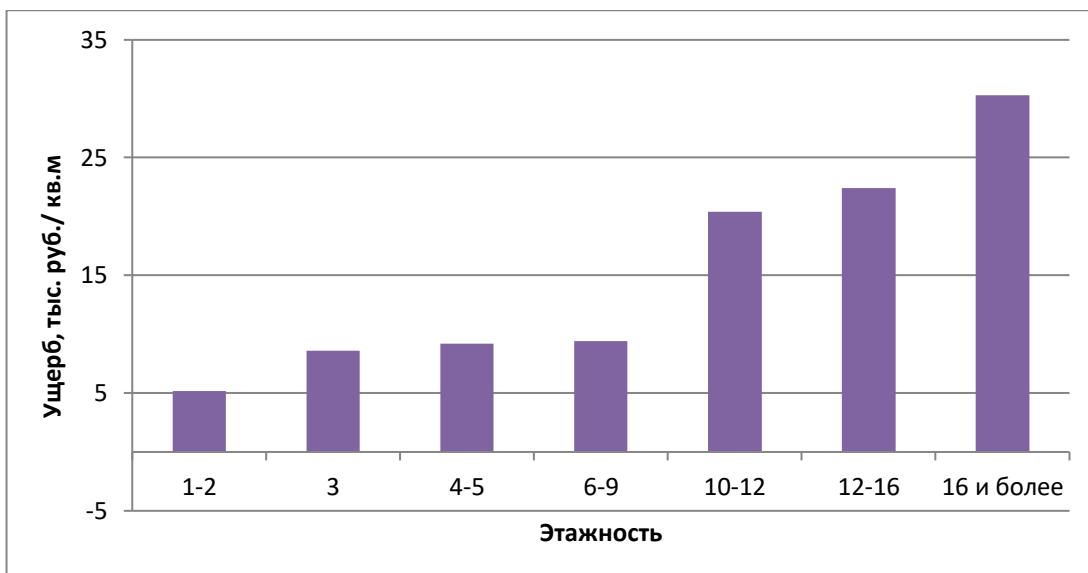


Рисунок 70 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

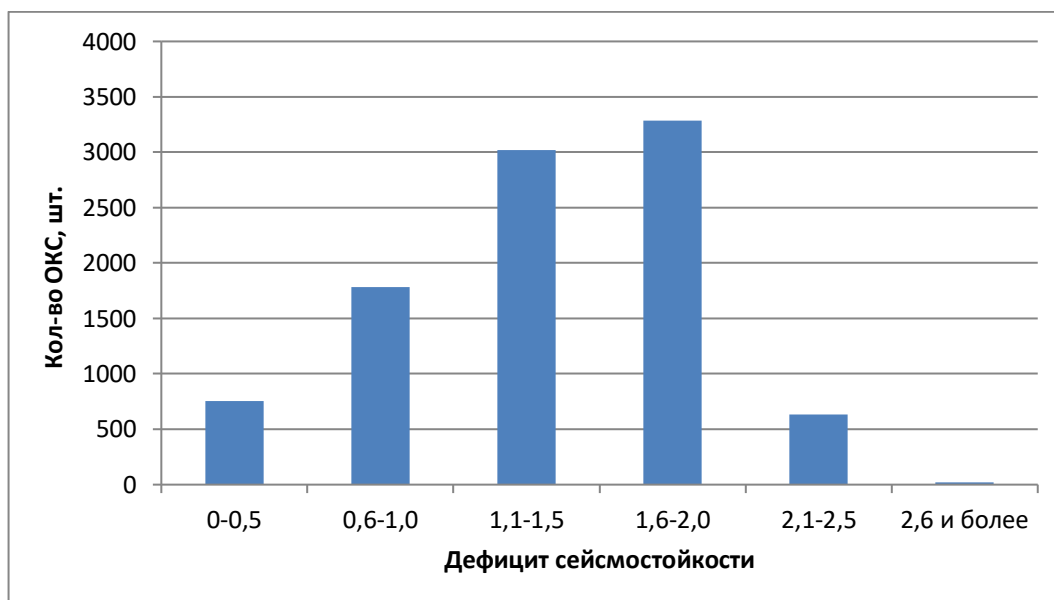


Рисунок 71 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

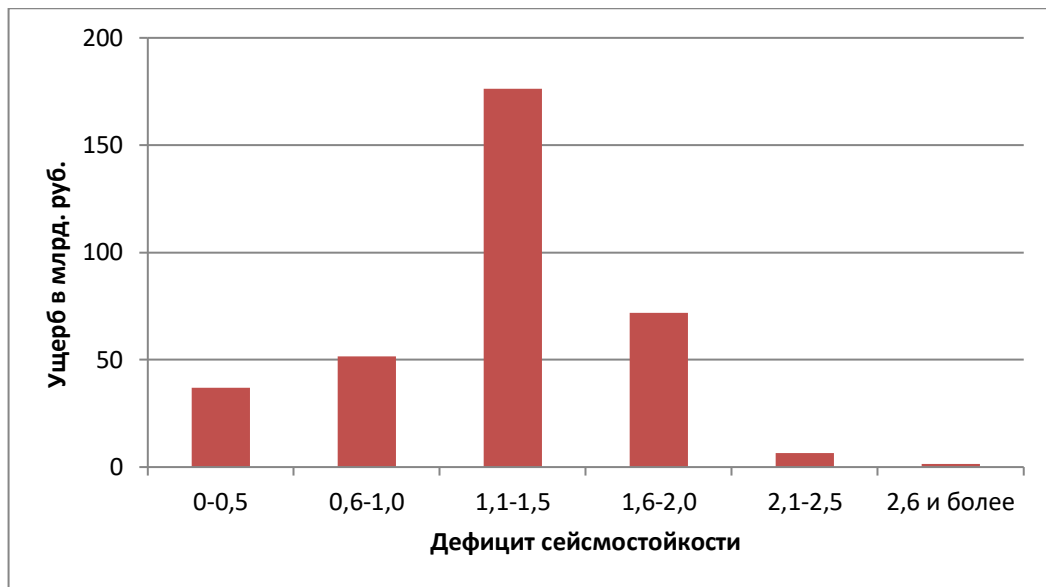


Рисунок 72 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

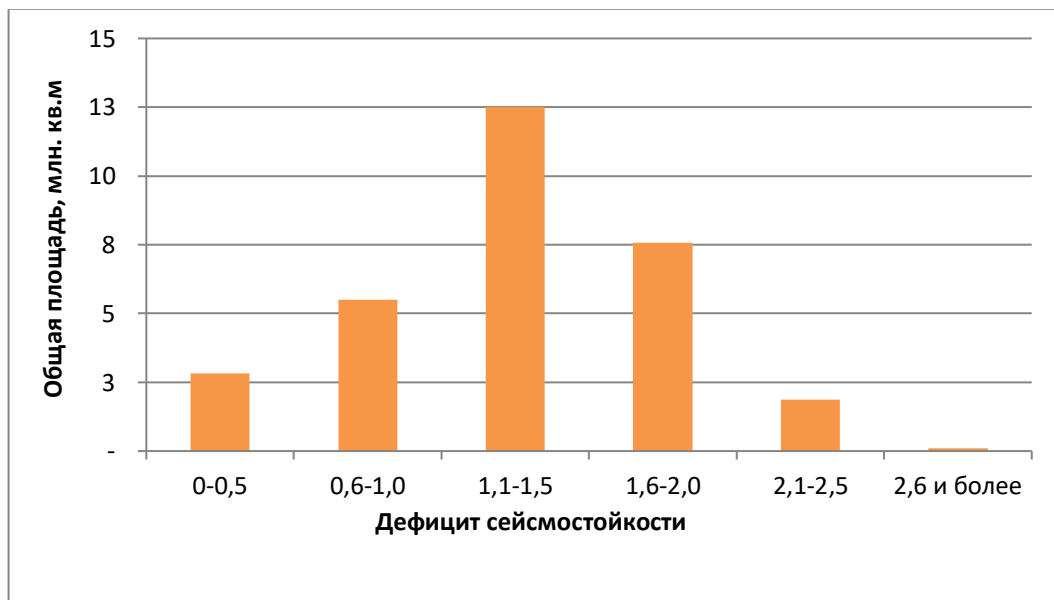


Рисунок 73 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

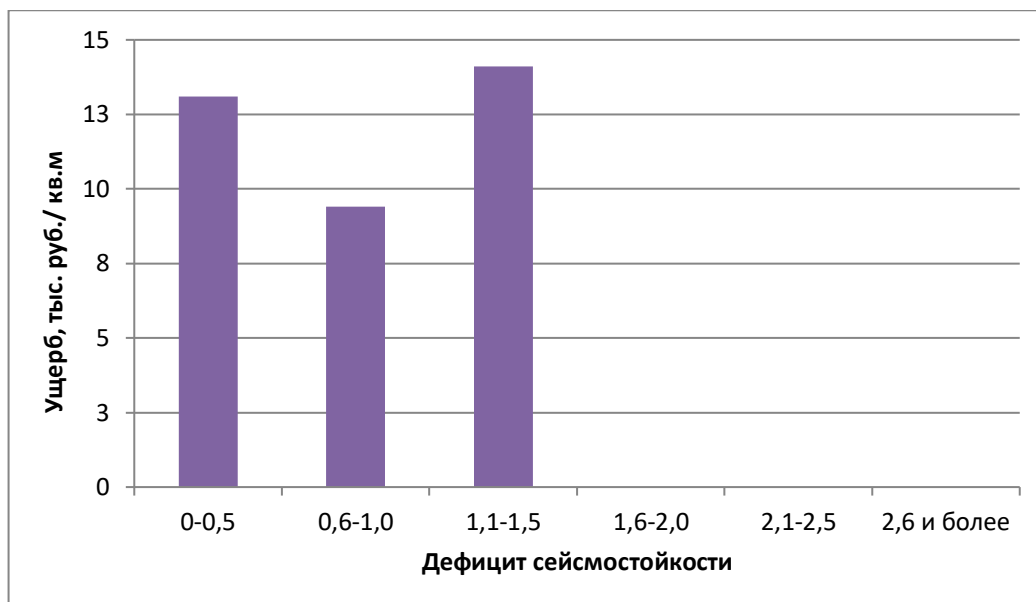


Рисунок 74 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

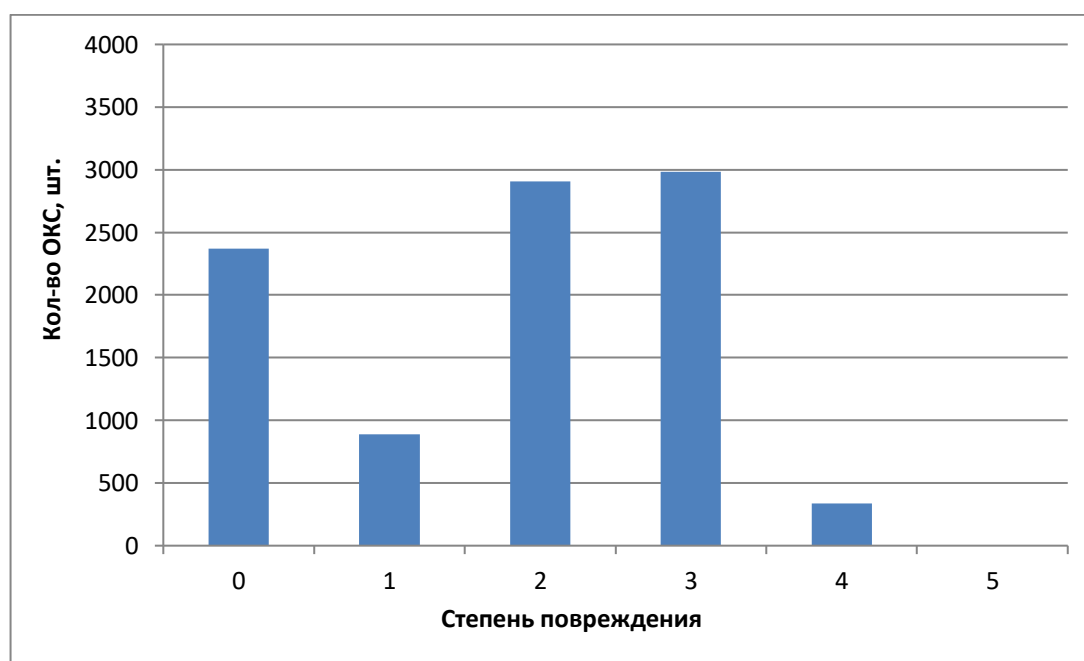


Рисунок 75 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения

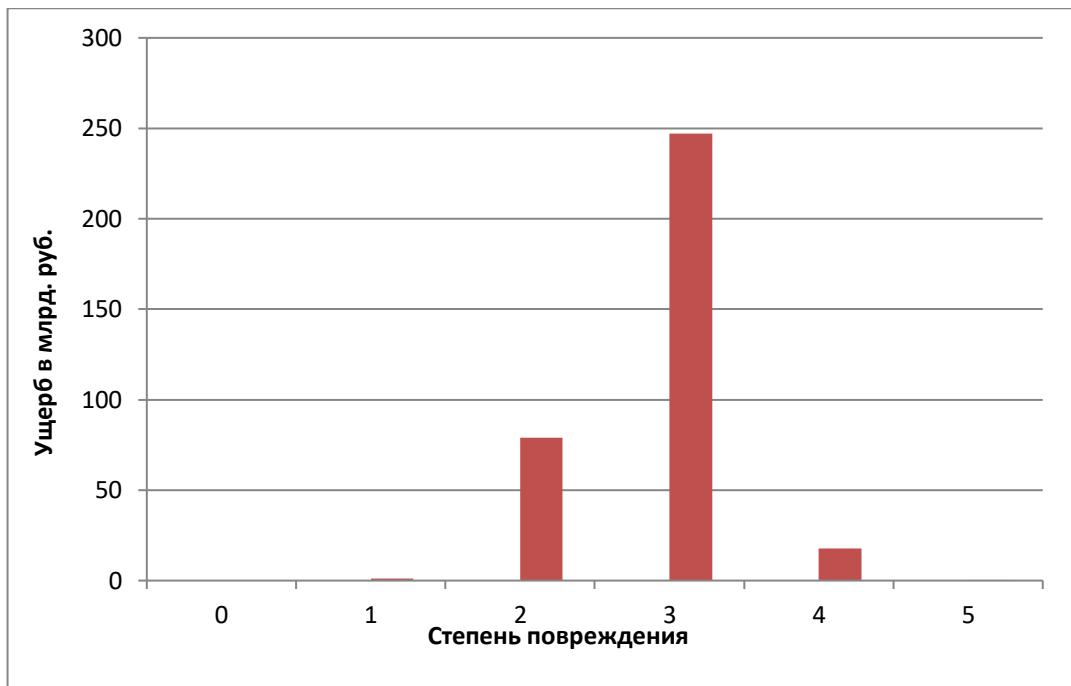


Рисунок 76 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения

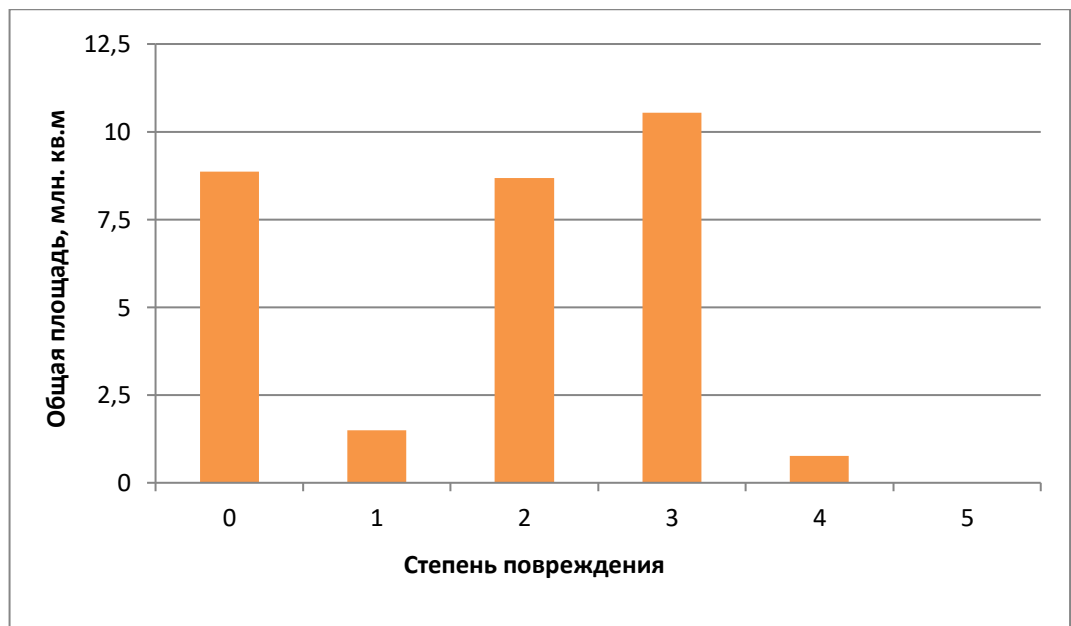


Рисунок 77 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения



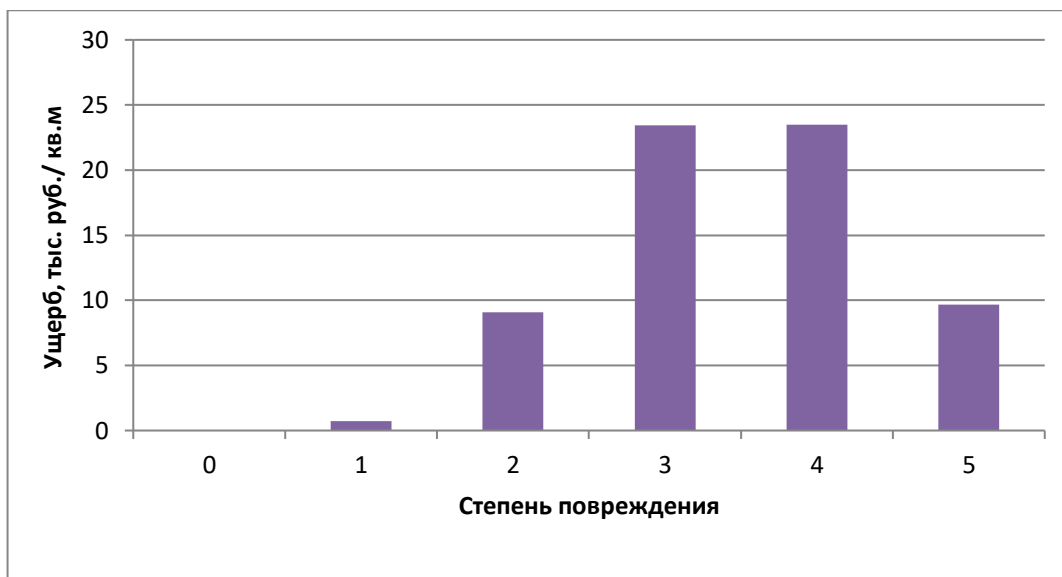


Рисунок 78 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

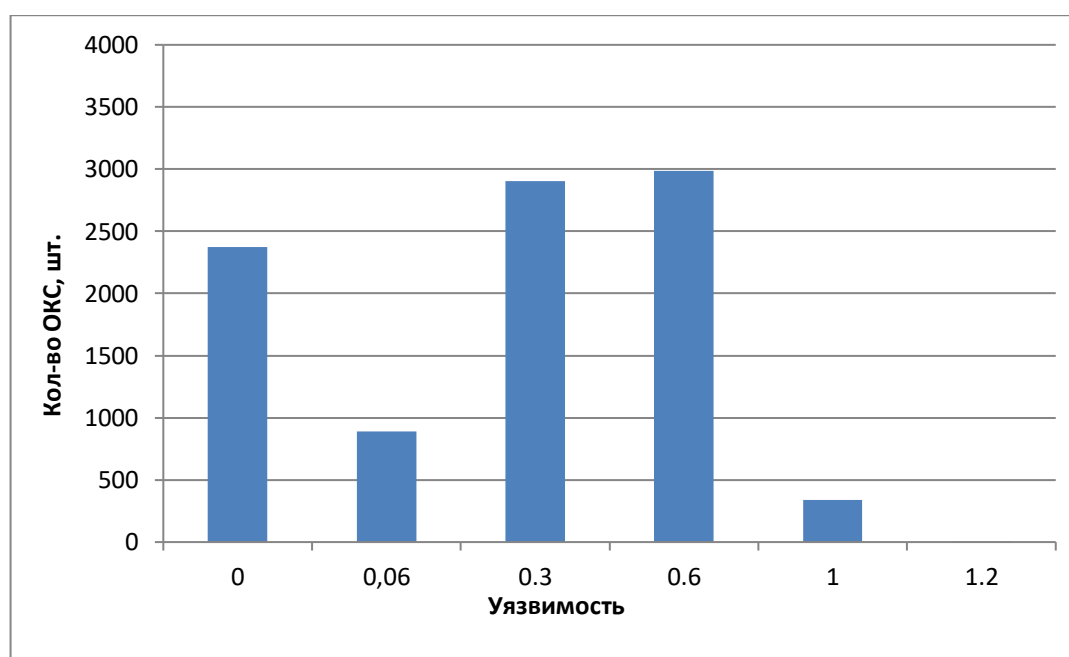


Рисунок 79 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

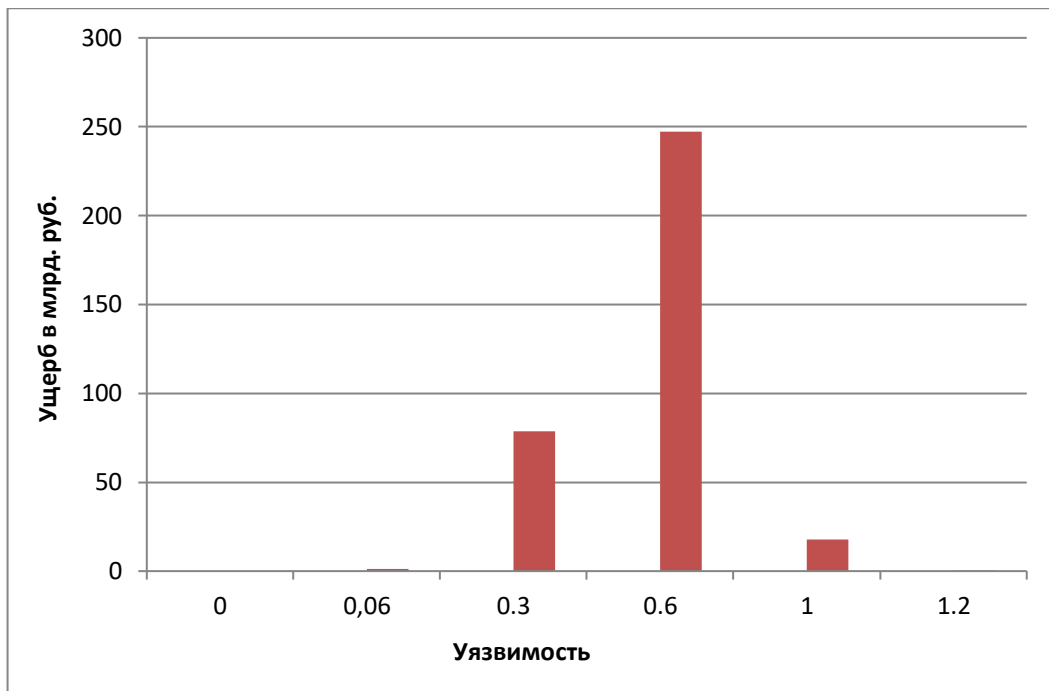


Рисунок 80 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

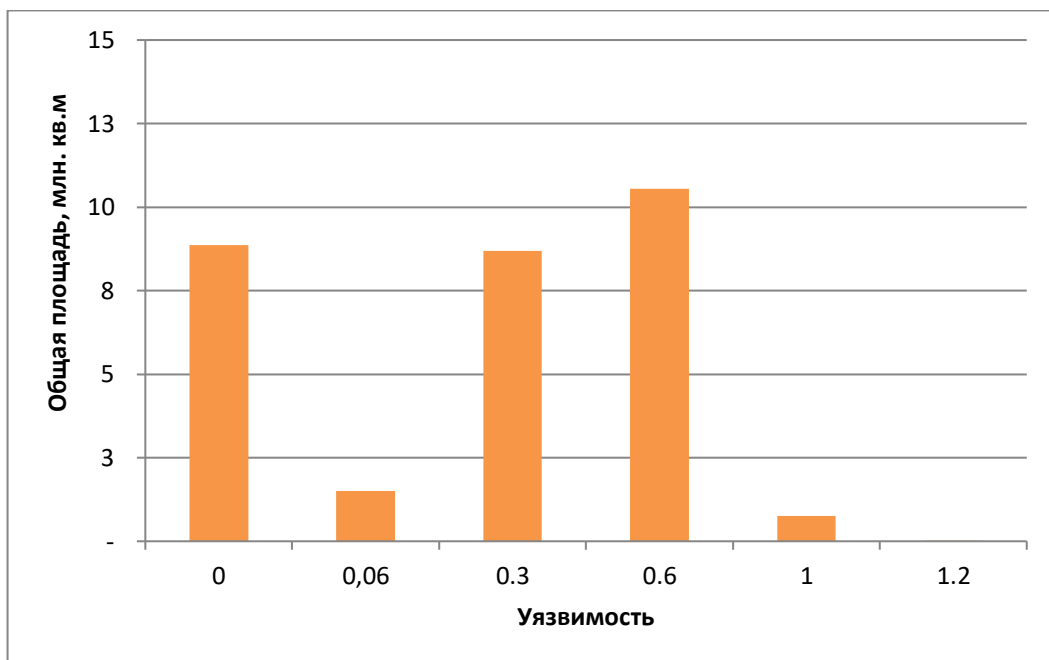


Рисунок 81 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

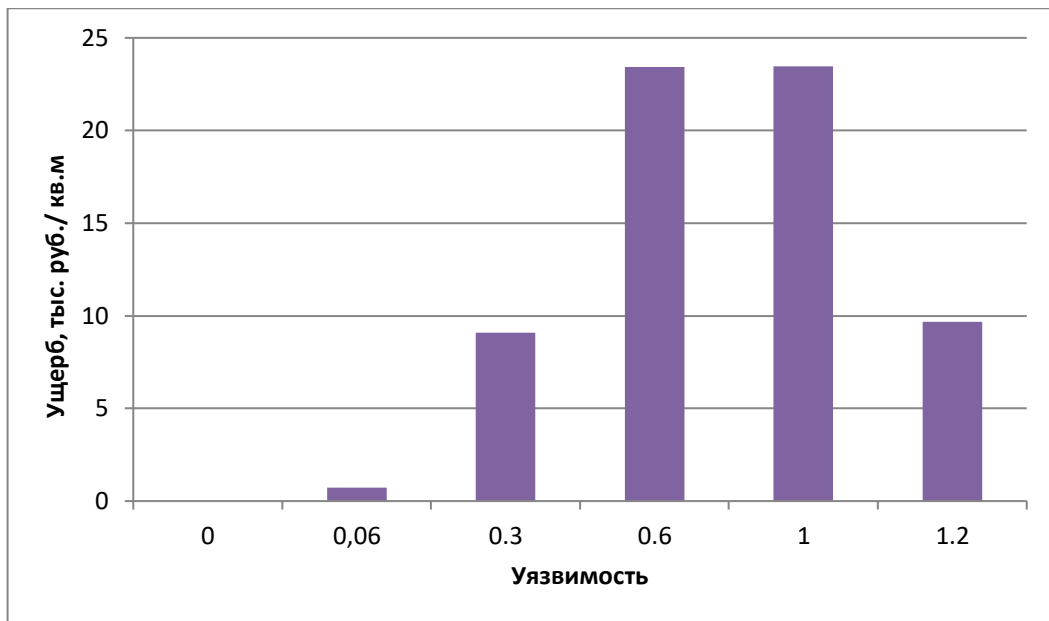


Рисунок 82 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью

### 5.3 Краснодарский край

Исходные данные по Краснодарскому краю насчитывают сведения по 15020 ОКС (Приложение Д). Суммарная площадь построек составила 57985602 м<sup>2</sup>. Численность населения составляет 5819345 человек.

На рисунке ниже (Рисунок 83) показано расположение ОКС, и их кадастровая стоимость.

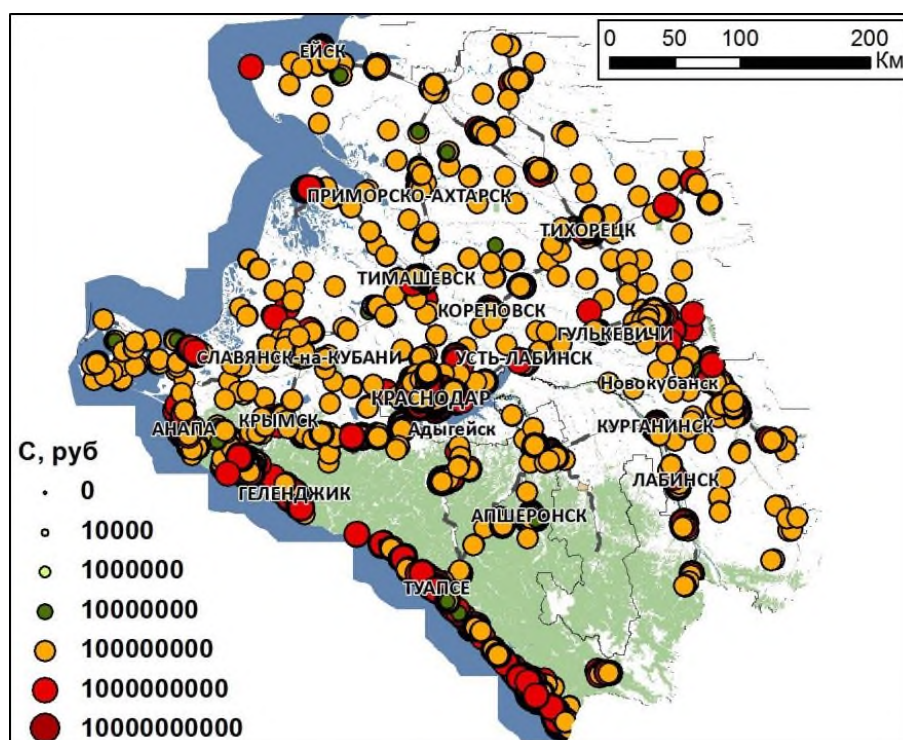


Рисунок 83 – Положение ОКС на территории Краснодарского края

В соответствии с описанной ранее методикой в расчетном модуле была выполнена генерация синтетического каталога землетрясений на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015) длительностью 50 000 лет. Всего синтетический каталог насчитывает 56 838 землетрясений. Из них 6 985 землетрясения способны вызвать ущерб для ОКС Краснодарского края, вошедших в расчет (Рисунок 84).

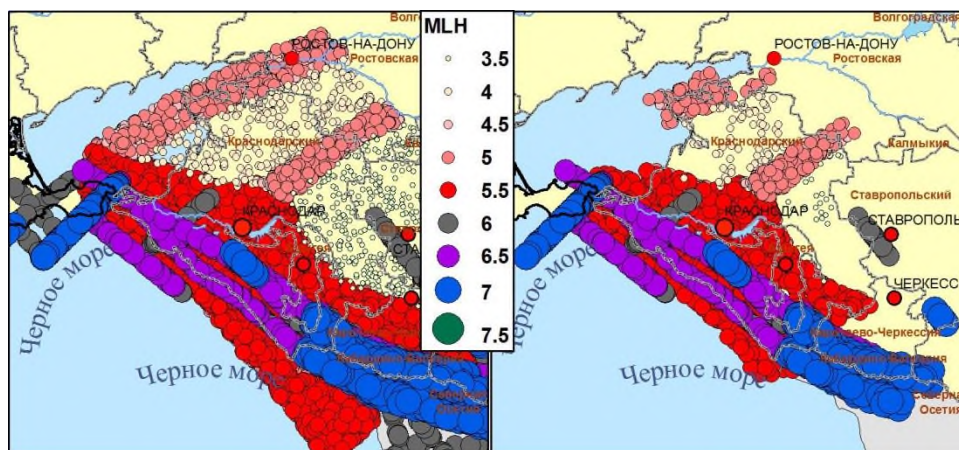


Рисунок 84 – А) Каталог землетрясений, синтезированный на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015); Б) Землетрясения, способные вызвать ущерб для ОКС Краснодарского края

На рисунке ниже (Рисунок 85) землетрясения синтезированного каталога дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Краснодарского края.

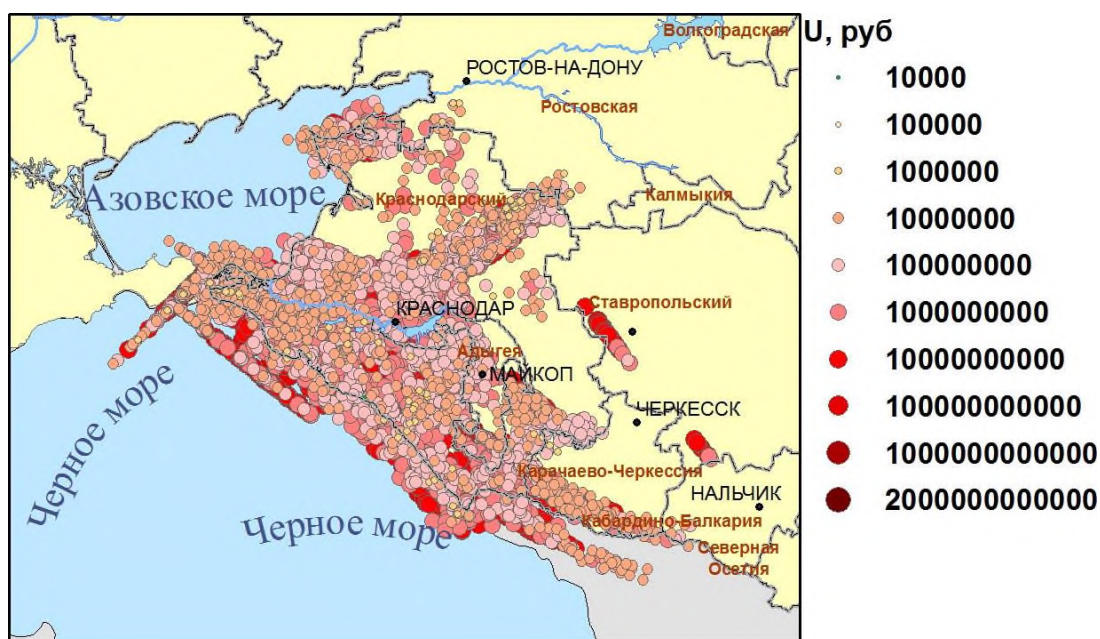


Рисунок 85 – Землетрясения дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Краснодарского края

Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб приведен в таблице ниже (Таблица 31).

Таблица 31 – Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб

№ лин.	M <sub>ЛН</sub>	Параметры очага				Координаты гипоцентра		
		длина, км	ширина, км	азимут, °	угол падения, °	Lat, °	Lon, °	Z, км
25	7.2	66.67	21.93	126.57	94.09	44.59	39.05	5.75

Синтезированный каталог землетрясений был разделен на выборки по 500, 1000, 5000 лет. Оценки максимального вероятного ущерба, по каждой выборке приведены в таблице ниже (Таблица 32).

Таблица 32 – Оценки макс. вероятного ущерба

№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб
1	225 507	21	1 164 510	41	1 392 393	61	847 410	81	846 065
2	1 089 675	22	871 667	42	325 692	62	148 322	82	628 452
3	325 778	23	167 335	43	51 634	63	316 330	83	721 663
4	819 771	24	125 184	44	65 500	64	1 292 786	84	212 729
5	756 531	25	1 156 763	45	749 498	65	140 338	85	76 532
6	567 907	26	122 635	46	801 334	66	105 282	86	124 344
7	636 073	27	166 189	47	749 472	67	809 005	87	762 140
8	1 883 222	28	511 348	48	294 443	68	954 989	88	1 481 622
9	436 612	29	264 377	49	140 085	69	892 897	89	769 167
10	345 597	30	764 120	50	179 976	70	743 903	90	776 740
11	117 477	31	479 011	51	108 498	71	441 184	91	794 273
12	735 265	32	248 473	52	546 545	72	577 539	92	1 229 271
13	282 940	33	753 437	53	159 286	73	988 717	93	1 150 870
14	767 368	34	181 972	54	860 867	74	241 652	94	147 498
15	1 375 135	35	312 071	55	903 662	75	1 935 721	95	817 860
16	463 178	36	419 616	56	137 569	76	387 159	96	146 279
17	189 395	37	767 618	57	155 860	77	203 983	97	1 038 053
18	728 531	38	501 038	58	232 360	78	292 803	98	1 386 175
19	1 143 306	39	439 231	59	506 868	79	185 795	99	241 658
20	356 858	40	976 190	60	696 804	80	148 171	100	153 273

Основной ущерб во всех временных выборках обеспечен землетрясениями на линеаментах № 15, 18, 25, 26, 30, 31 (Рисунок 86).

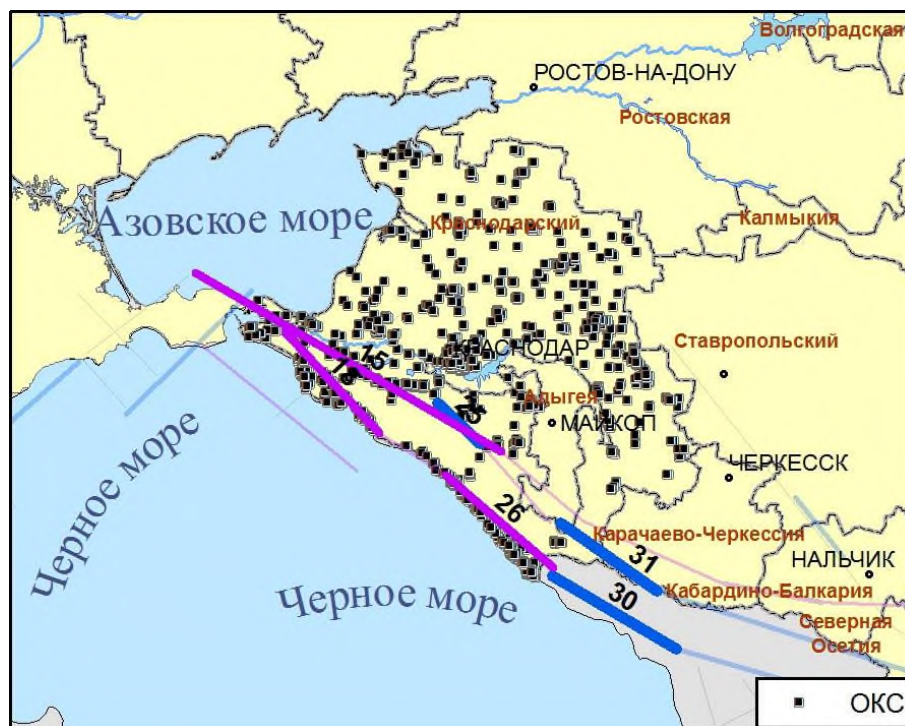


Рисунок 86 – Линеаменты, обеспечивающие максимальный разовый ущерб ОКС Краснодарского края

В таблице ниже (Таблица 33) приведены прогнозные оценки ущербов от нормированного и единичного землетрясения, с учетом периодов повторяемости воздействий, а также стандартное отклонение от прогнозных оценок.

Таблица 33 – Оценки вероятного ущерба

Ущерб от единичного нормированного землетрясения по карте ОСР-А, руб.	<b>899 837 112 028</b>
Ущерб от максимального единичного землетрясения, руб.	<b>1 332 267 954 602</b>

Таким образом, выполнена апробация разработанного модуля по оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе данных по Краснодарскому краю.

Максимальный ущерб ОКС Краснодарского края от разового землетрясения составил **1 332 267 954 602 руб.**

Оценки ущерба от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет составило:

ОСР-2015-А (500 лет) – **899 837 112 028** руб.

Результаты расчета ущерба приведены в Приложении Е.

Ниже приведены результаты анализа и обработки полученных данных в соответствии с разработанной методикой и критериями.

На рисунках (Рисунок 87 – Рисунок 114) приведены результаты анализа полученных данных расчета по ОКС Краснодарского края от разового максимального землетрясения.

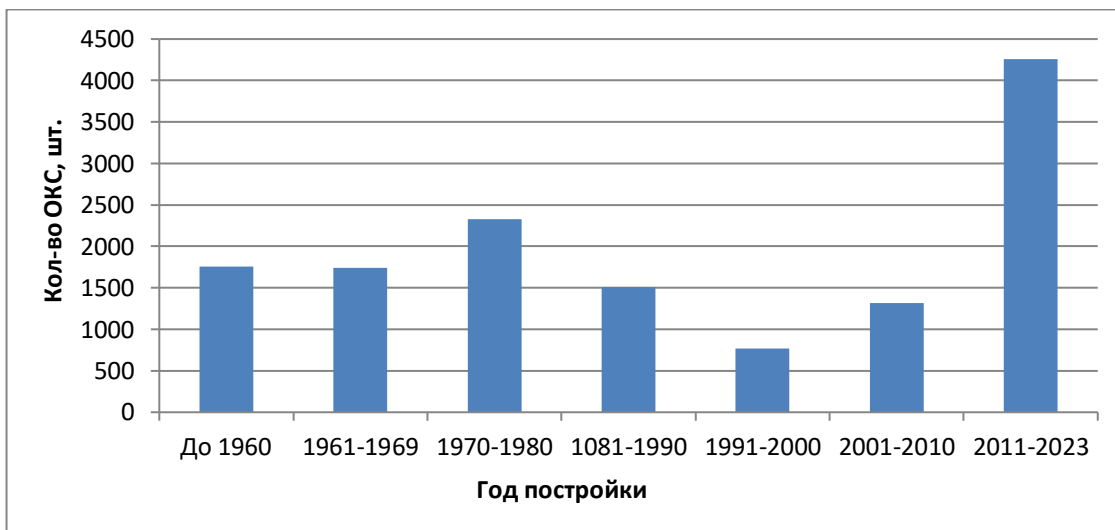


Рисунок 87 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки





Рисунок 88 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

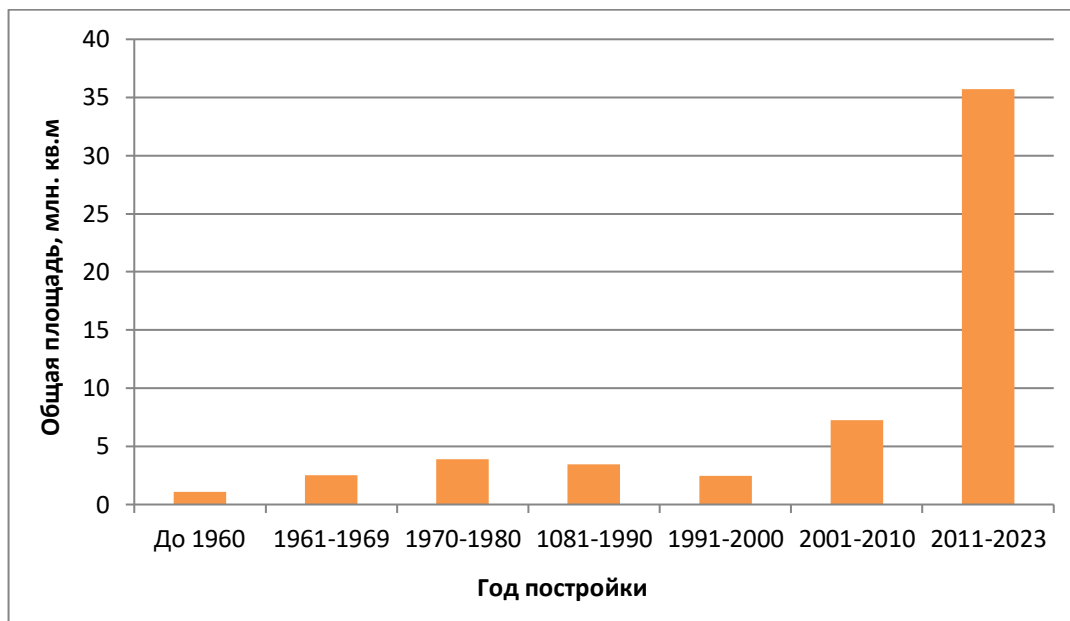


Рисунок 89 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки

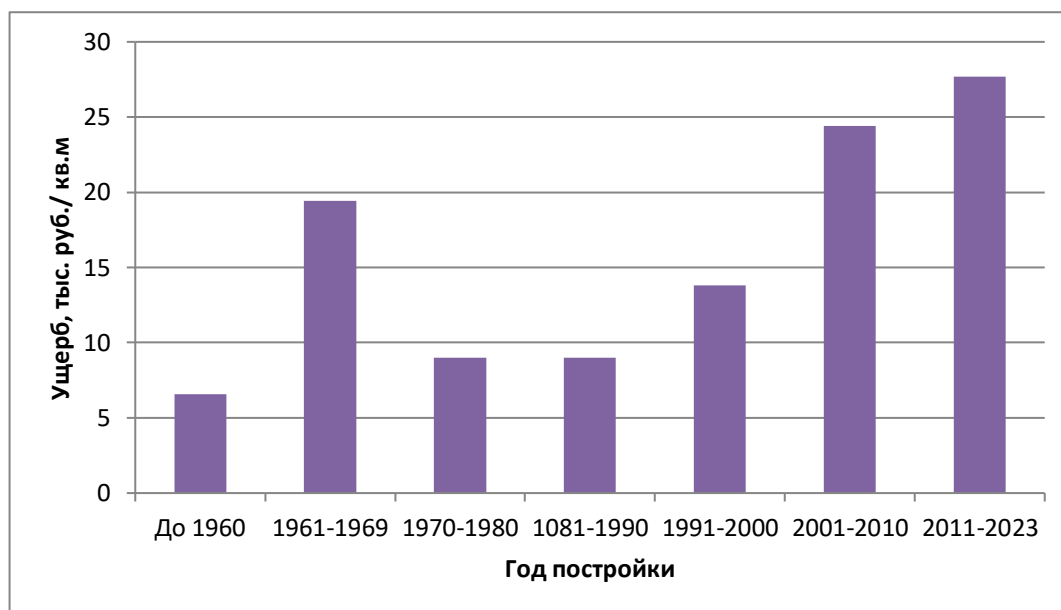


Рисунок 90 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки

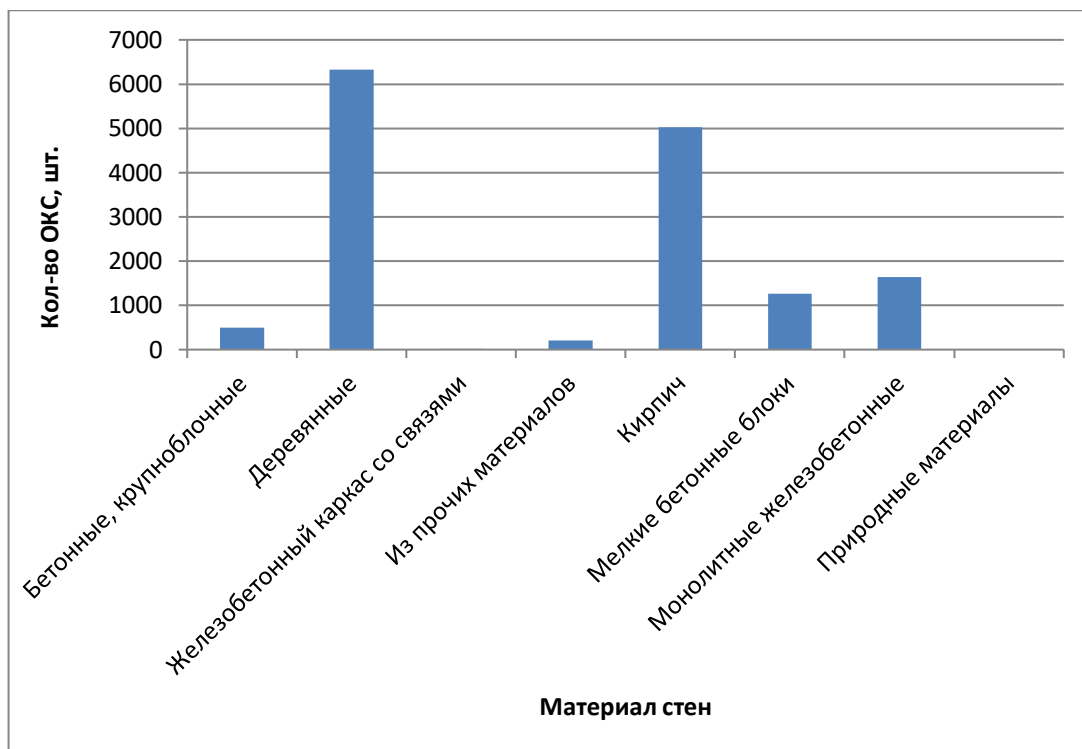


Рисунок 91 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

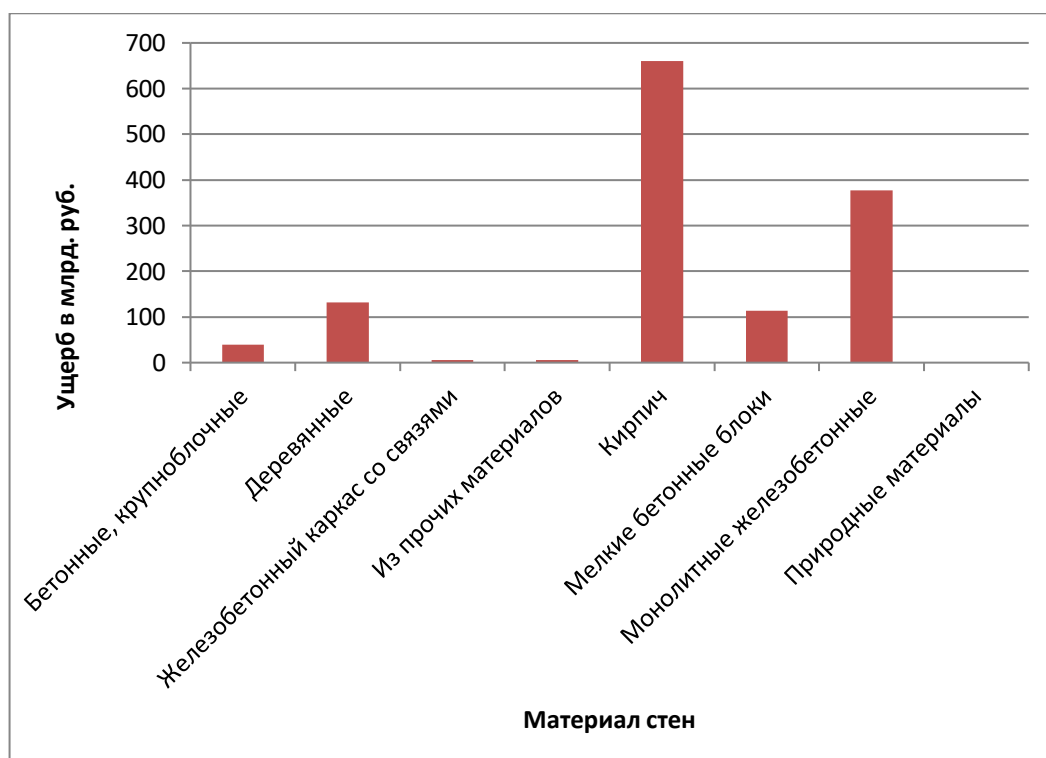


Рисунок 92 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

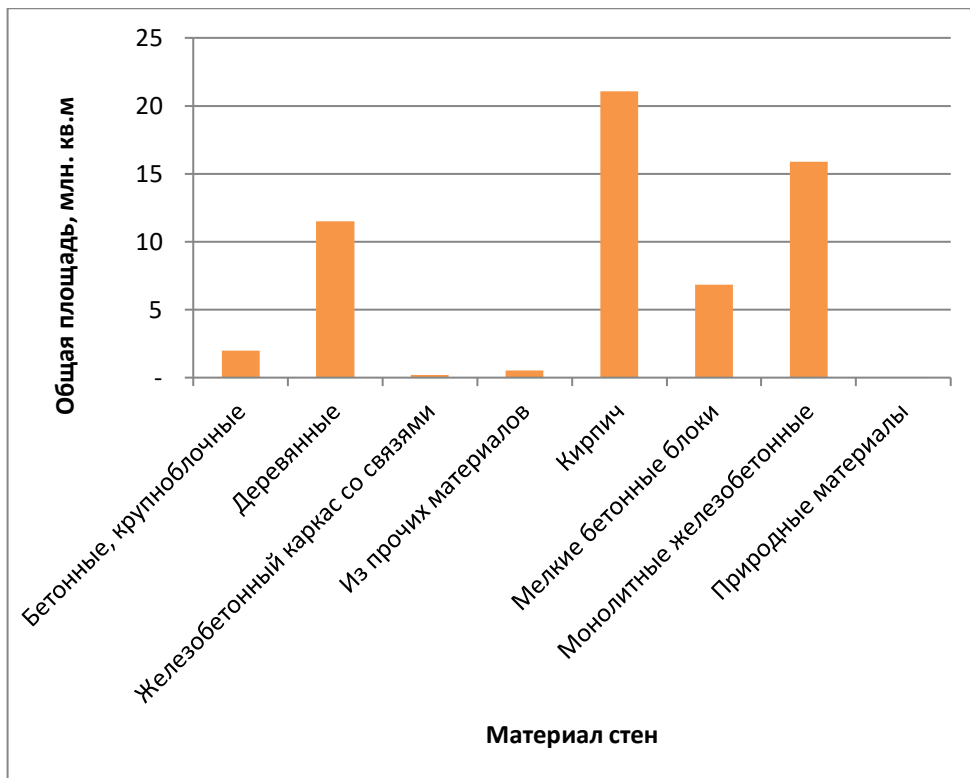


Рисунок 93 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

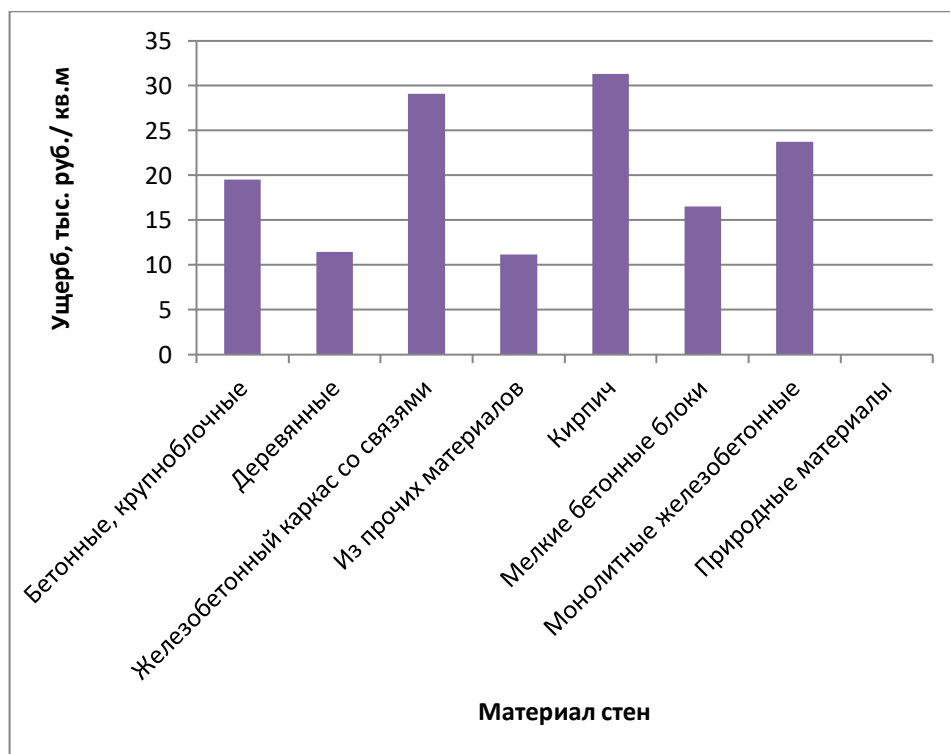


Рисунок 94 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

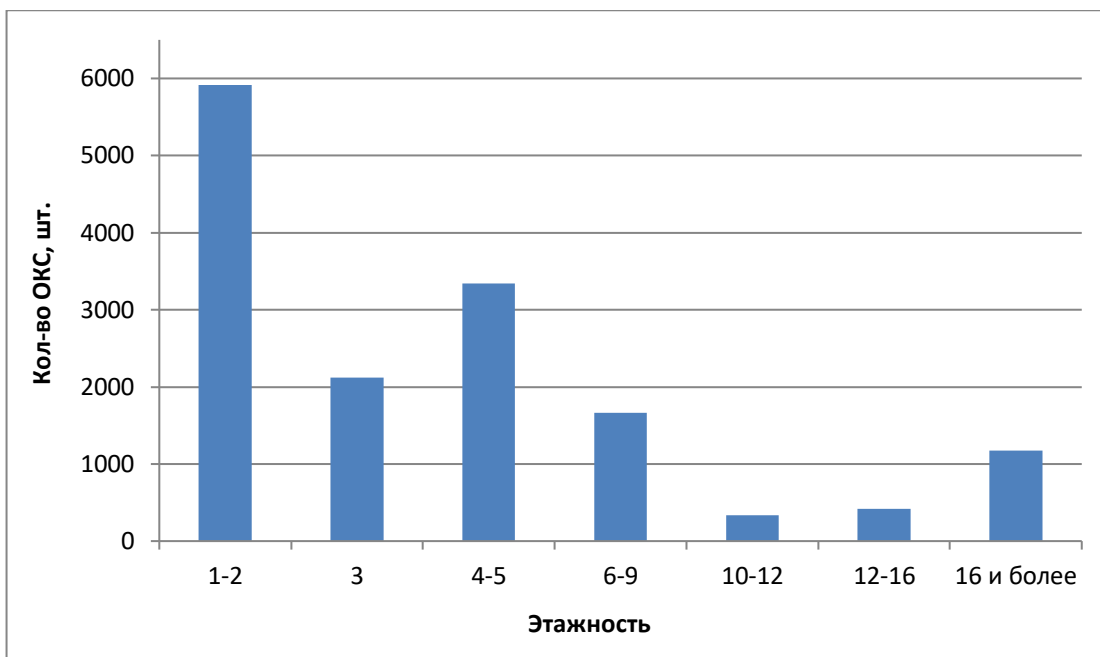


Рисунок 95 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

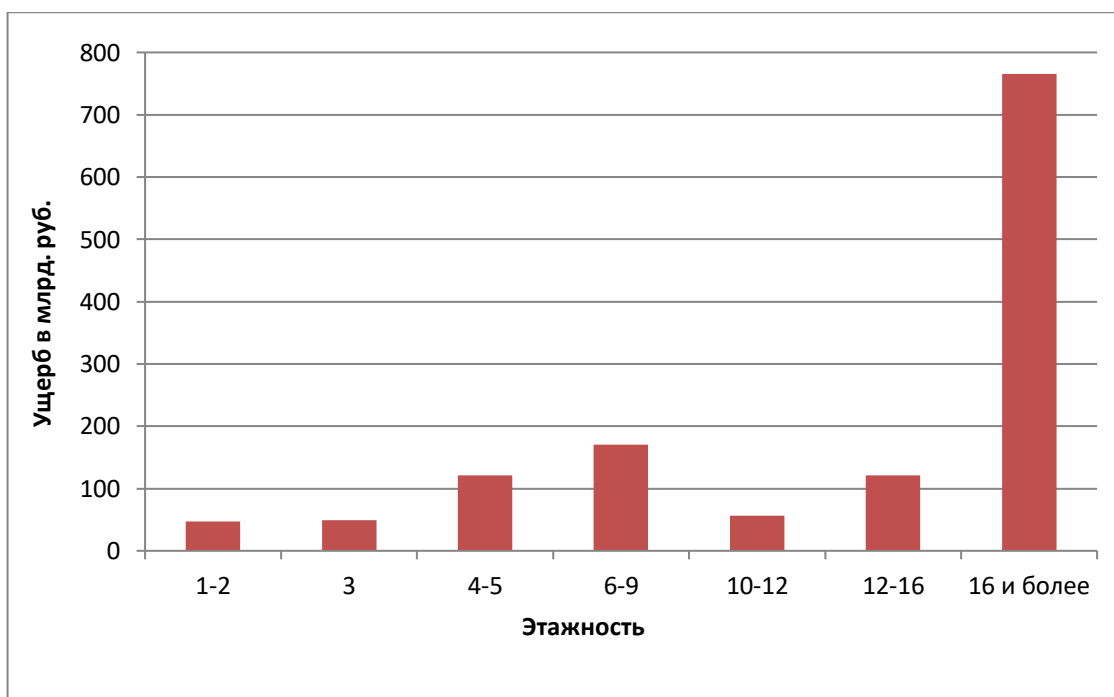


Рисунок 96 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

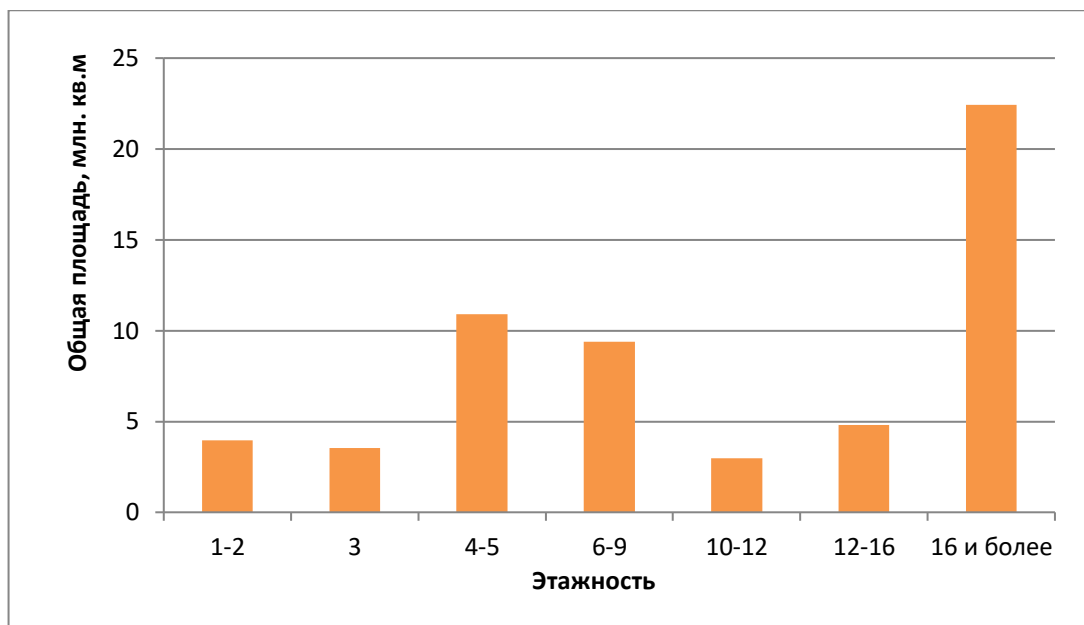


Рисунок 97 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

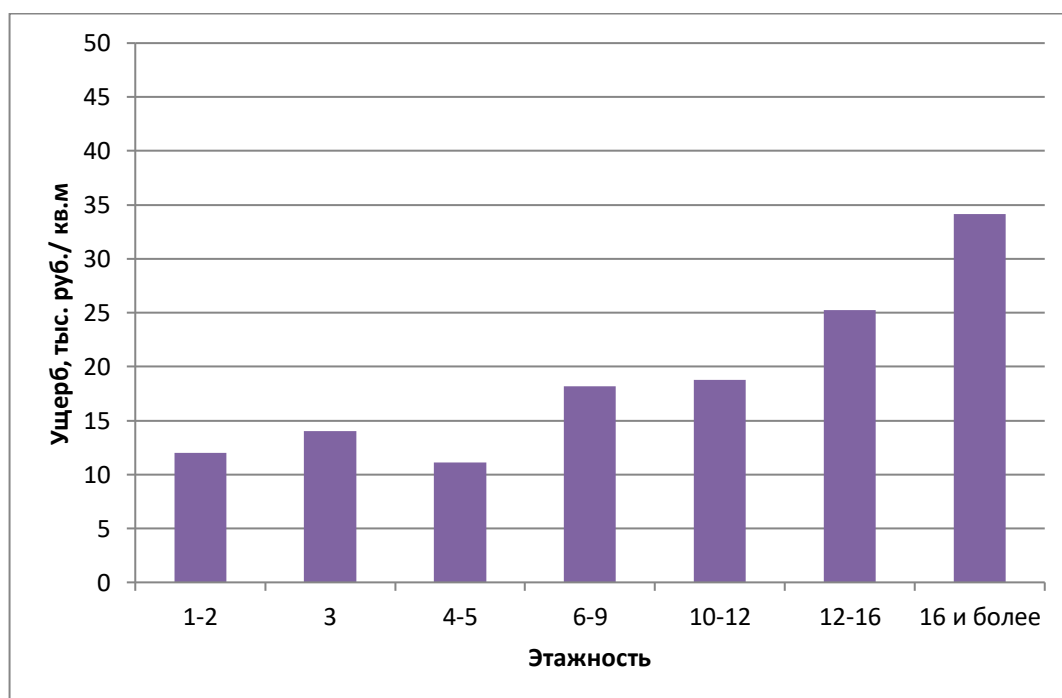


Рисунок 98 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

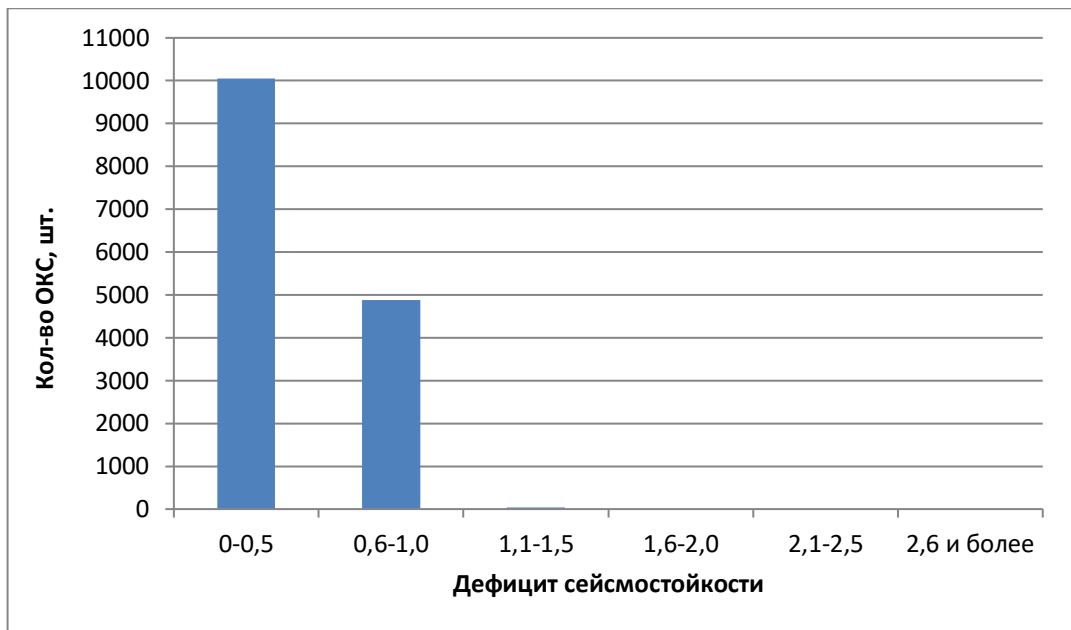


Рисунок 99 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости



Рисунок 100 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

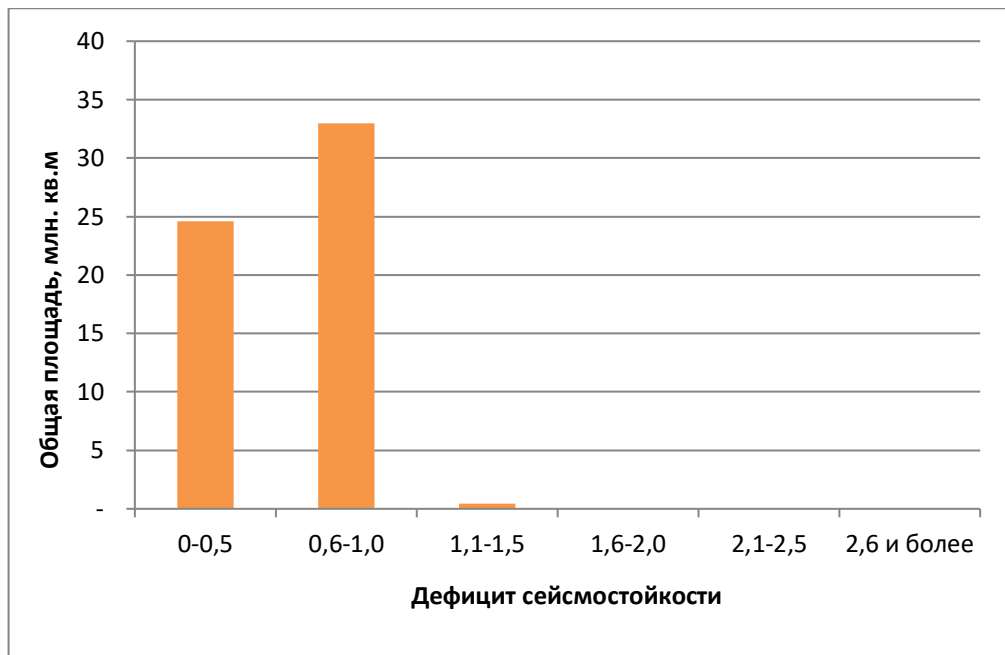


Рисунок 101 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

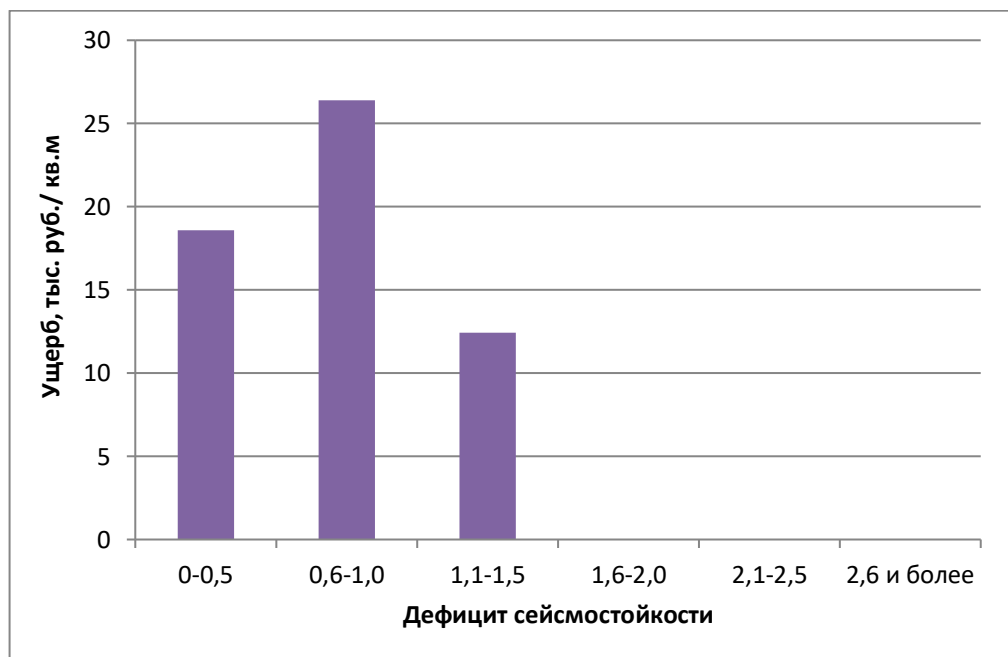


Рисунок 102 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

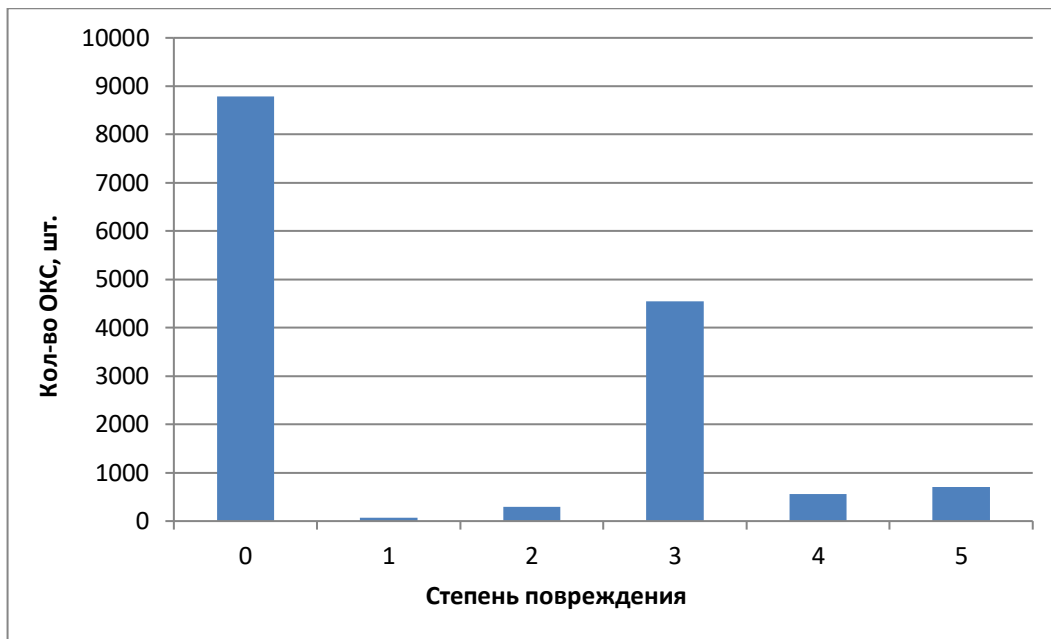


Рисунок 103 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения

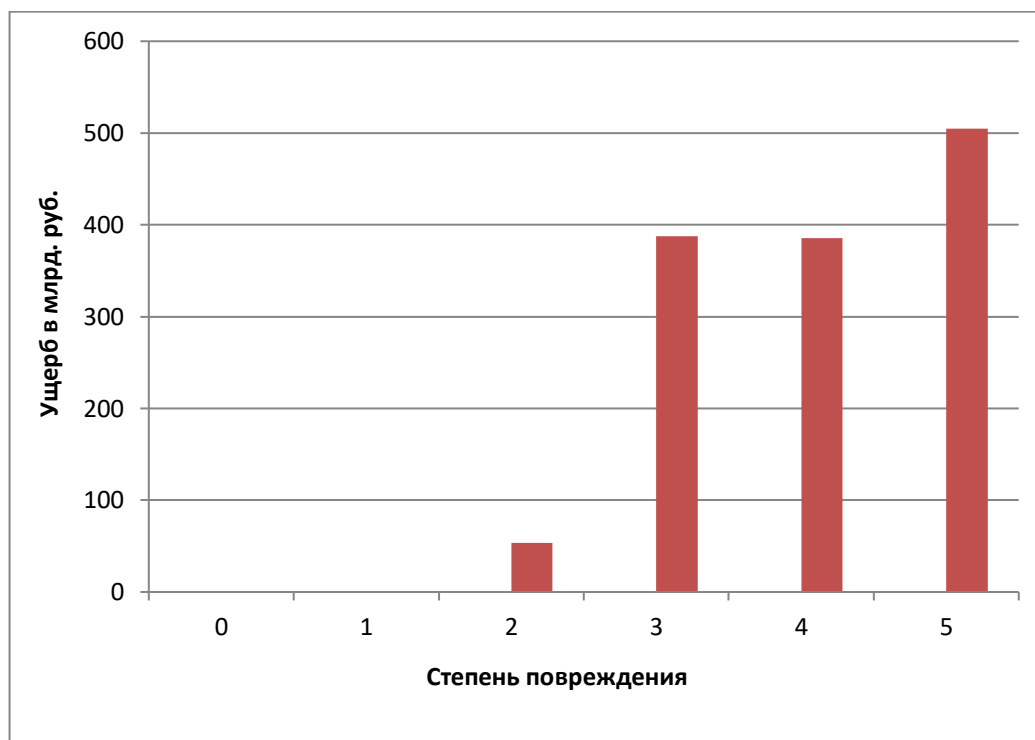


Рисунок 104 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения



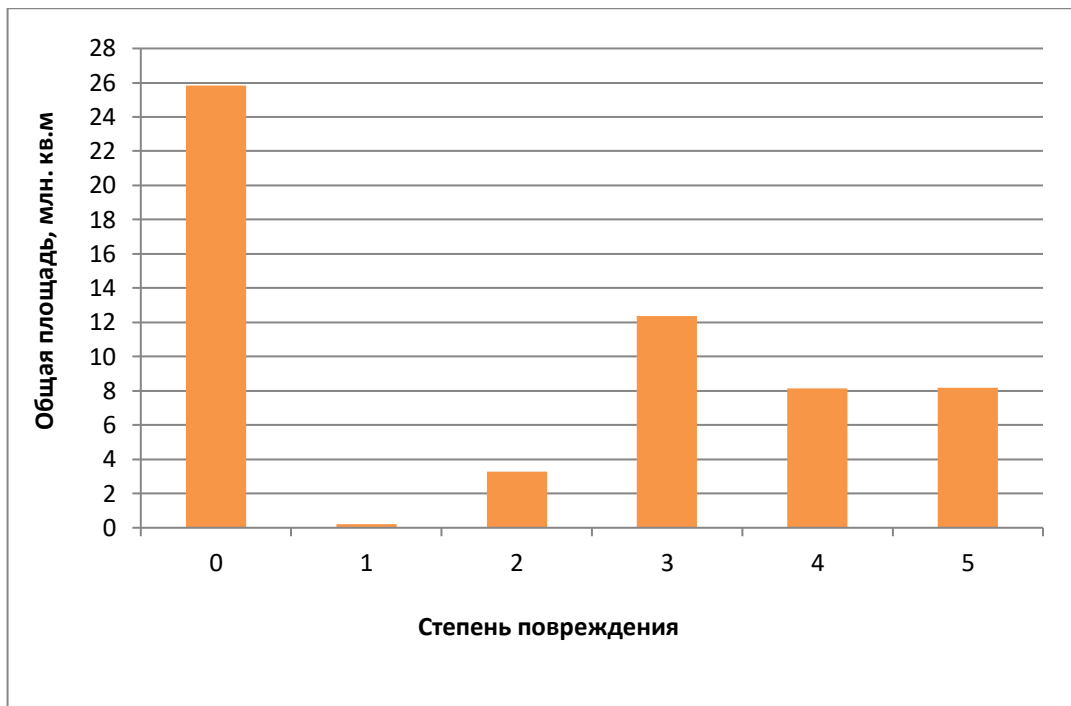


Рисунок 105 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

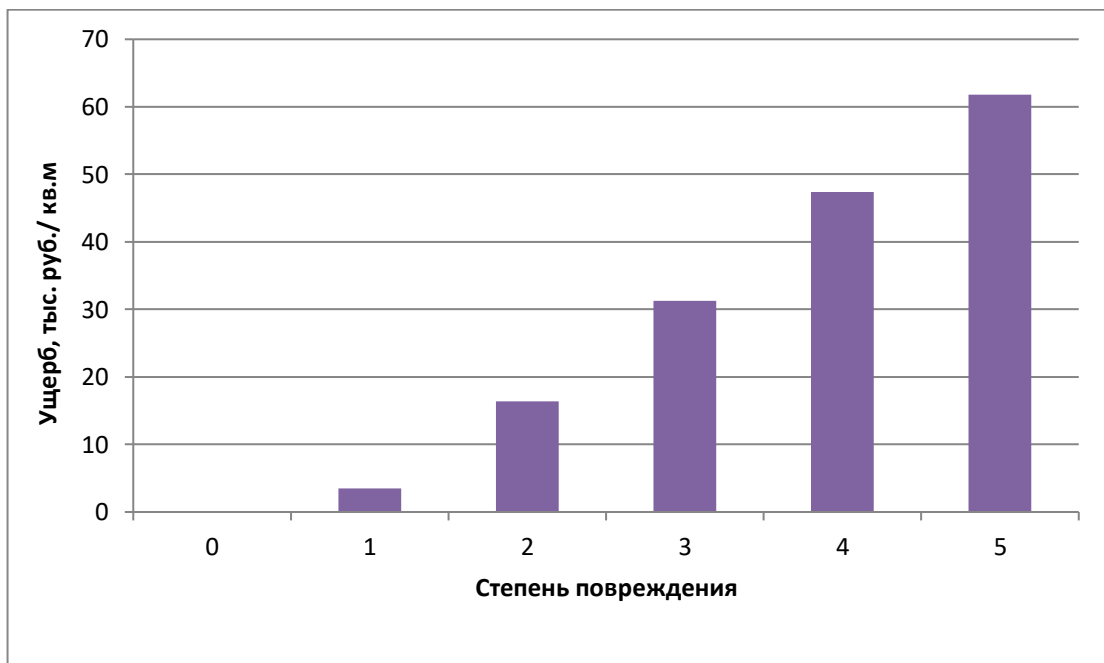


Рисунок 106 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

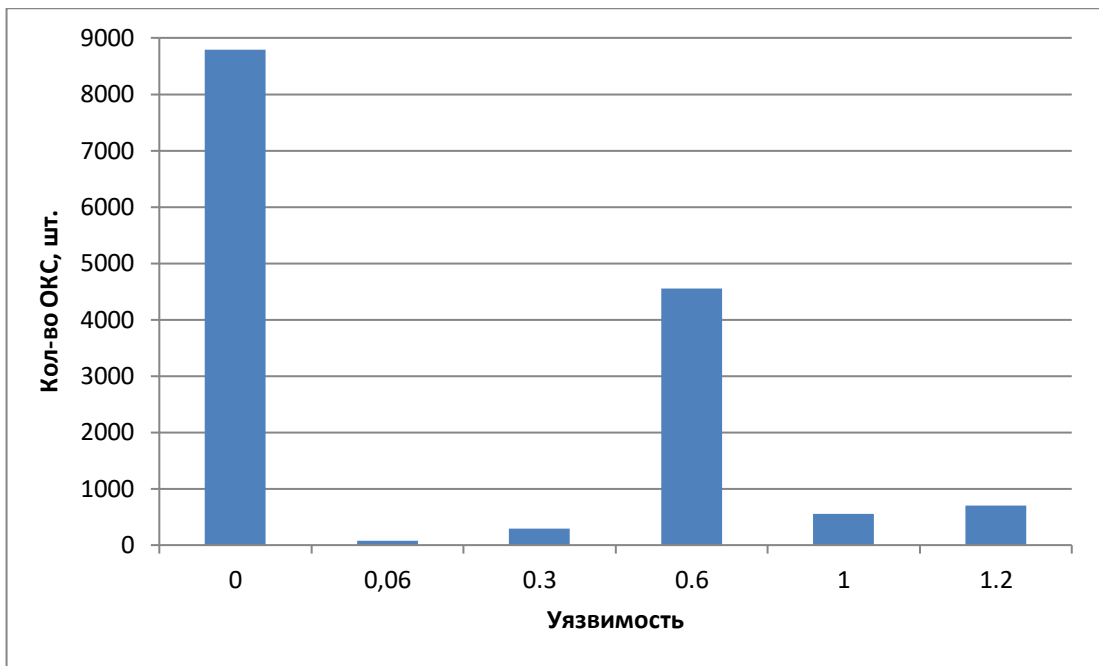


Рисунок 107 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

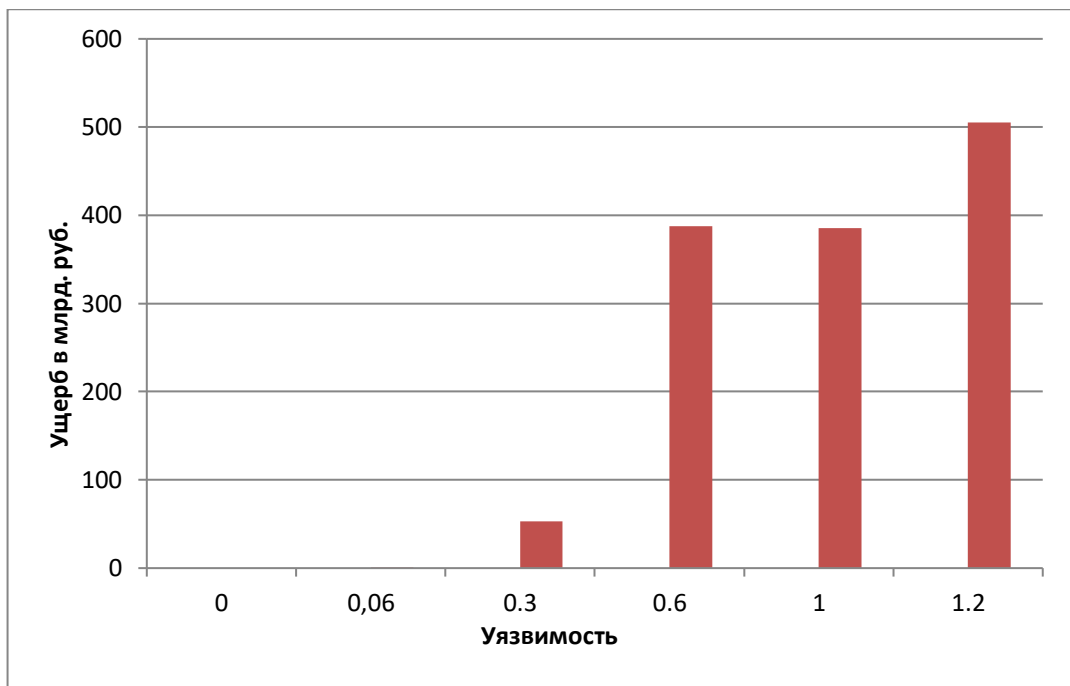


Рисунок 108 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

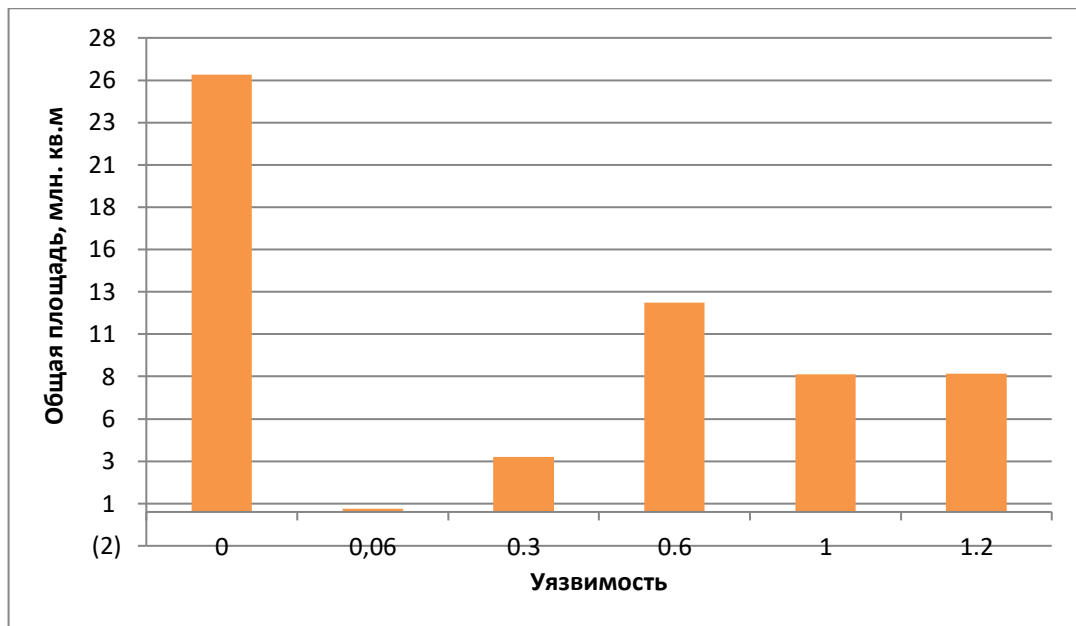


Рисунок 109 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

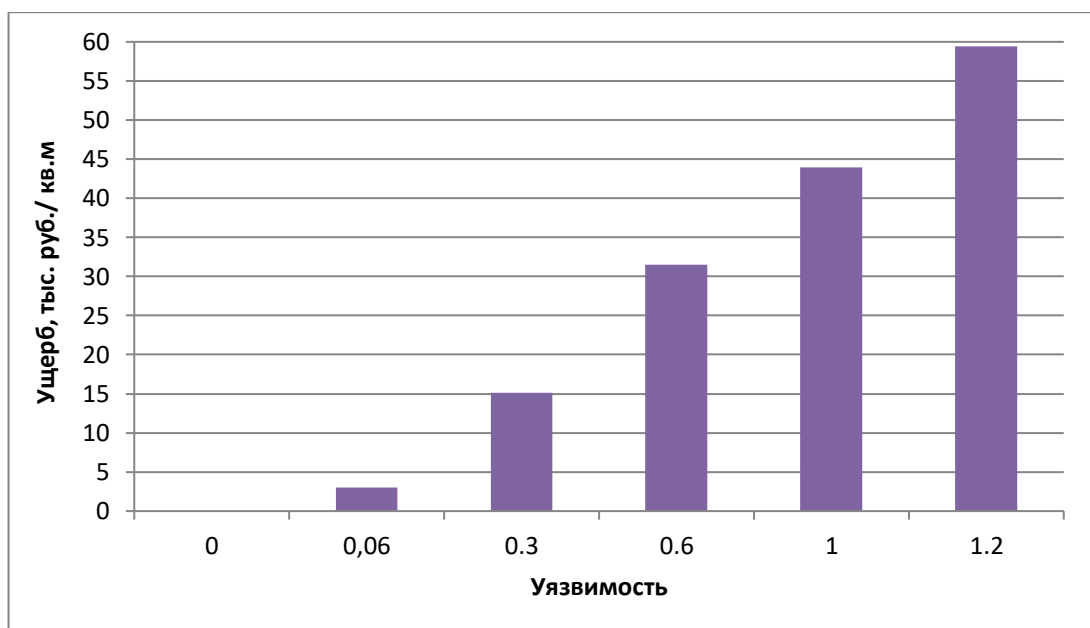


Рисунок 110 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью

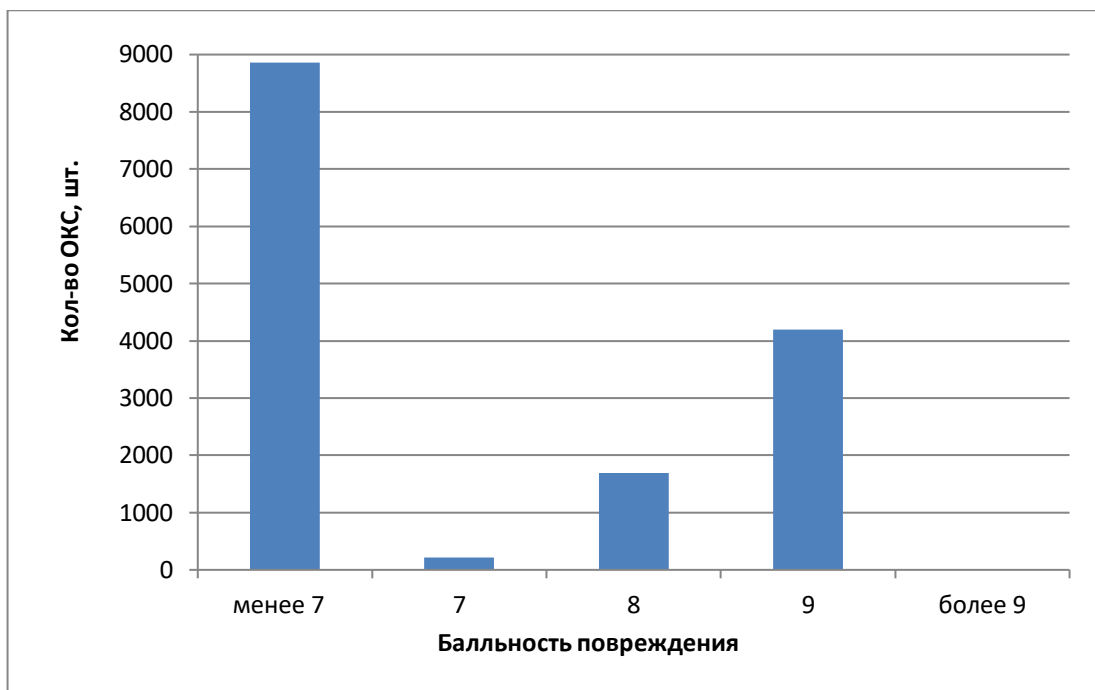


Рисунок 111 – Количество единиц ОКС в соответствии с балльностью повреждения

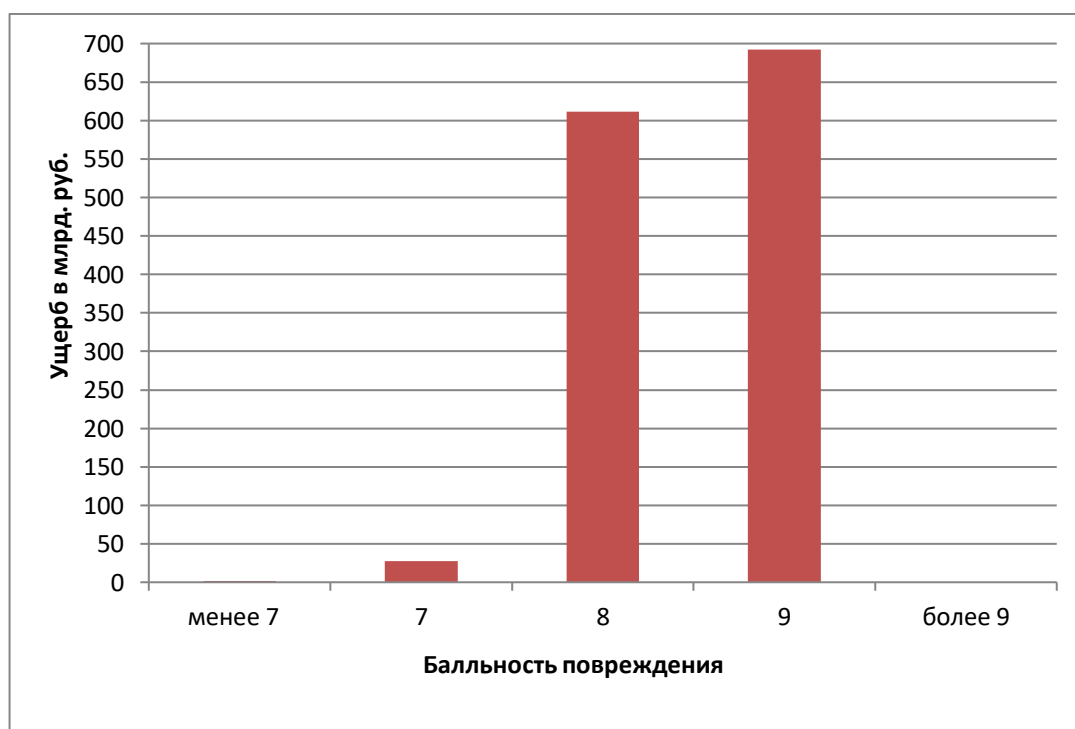


Рисунок 112 – Величина ущерба в соответствии с балльностью повреждения

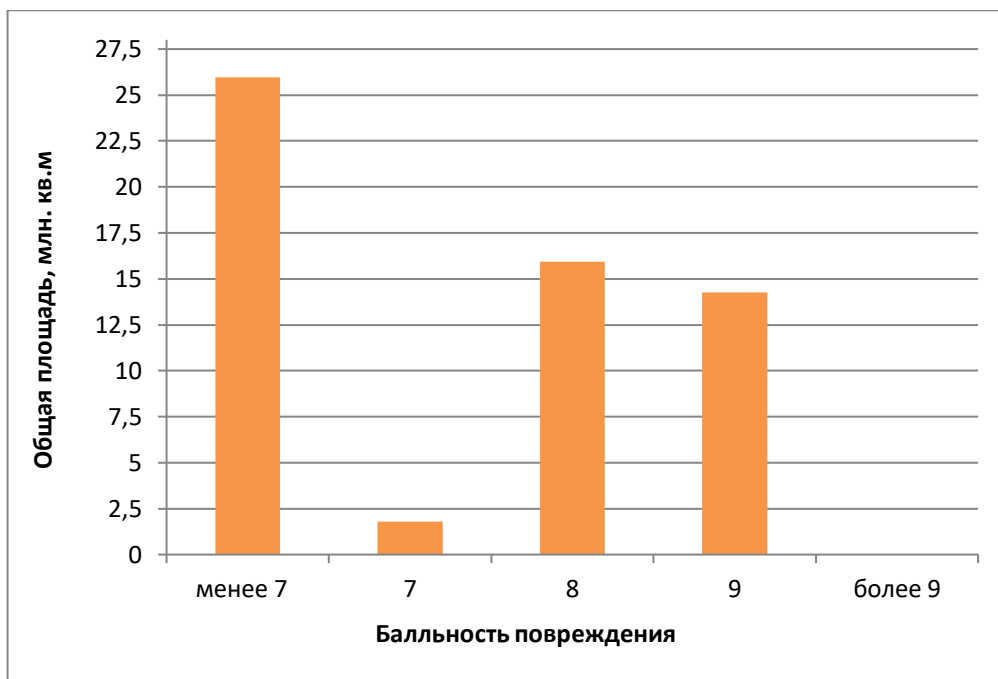


Рисунок 113 – Количество жилой площади в соответствии с балльностью повреждения



Рисунок 114 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с балльностью повреждения

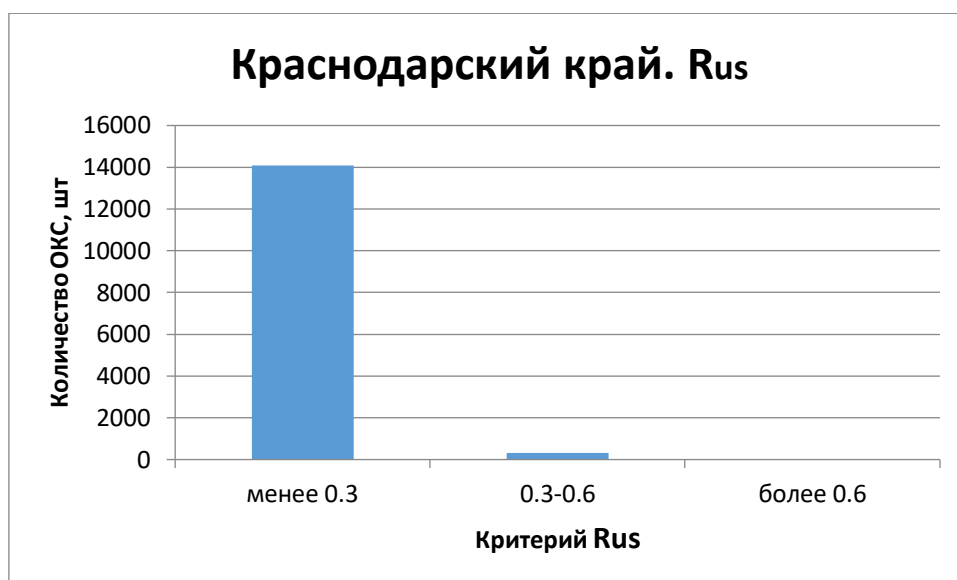


Рисунок 115 – Классификация ОКС по критерию  $R_{us}$

На рисунках (Рисунок 116 – Рисунок 139) приведены результаты анализа полученных данных расчета ОКС Краснодарского края от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет ОСР-2015-А.

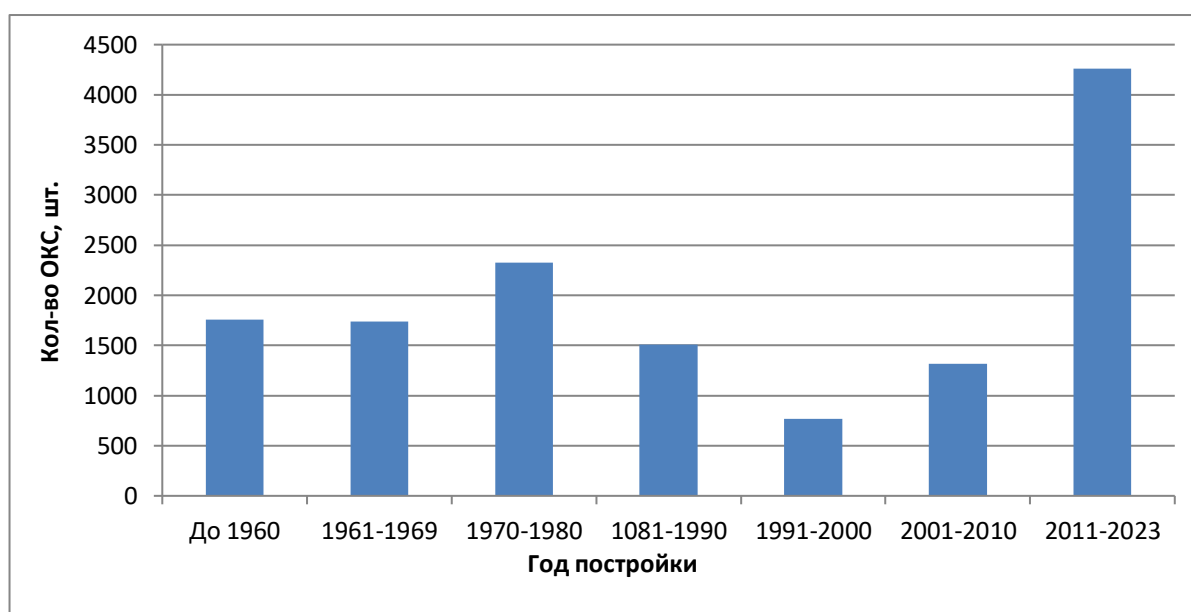


Рисунок 116 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки

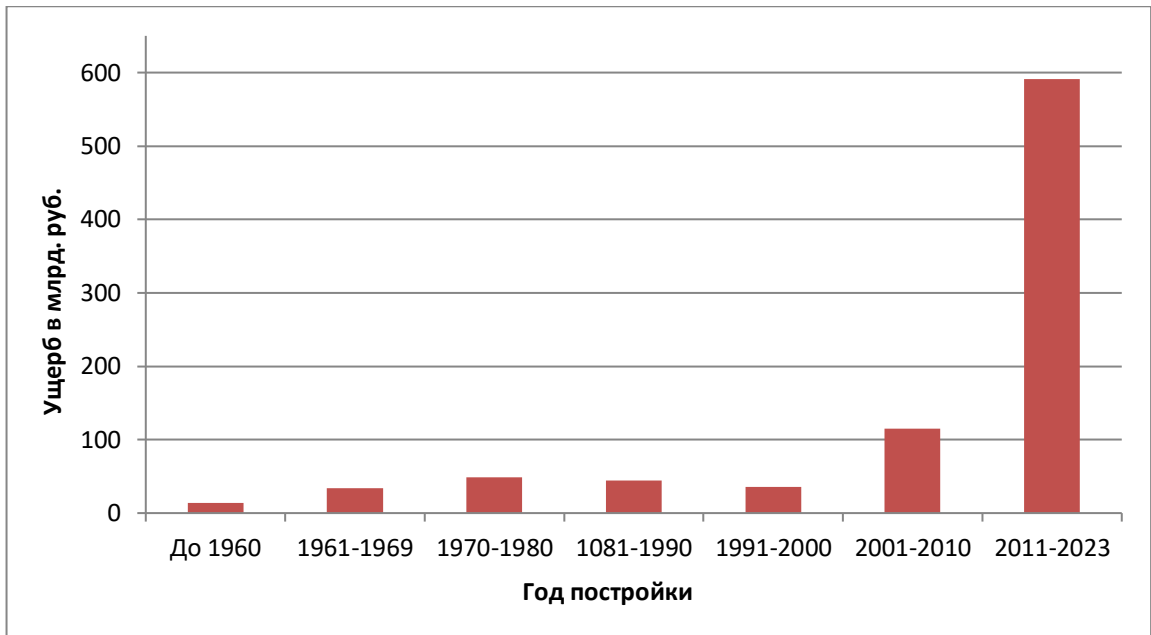


Рисунок 117 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

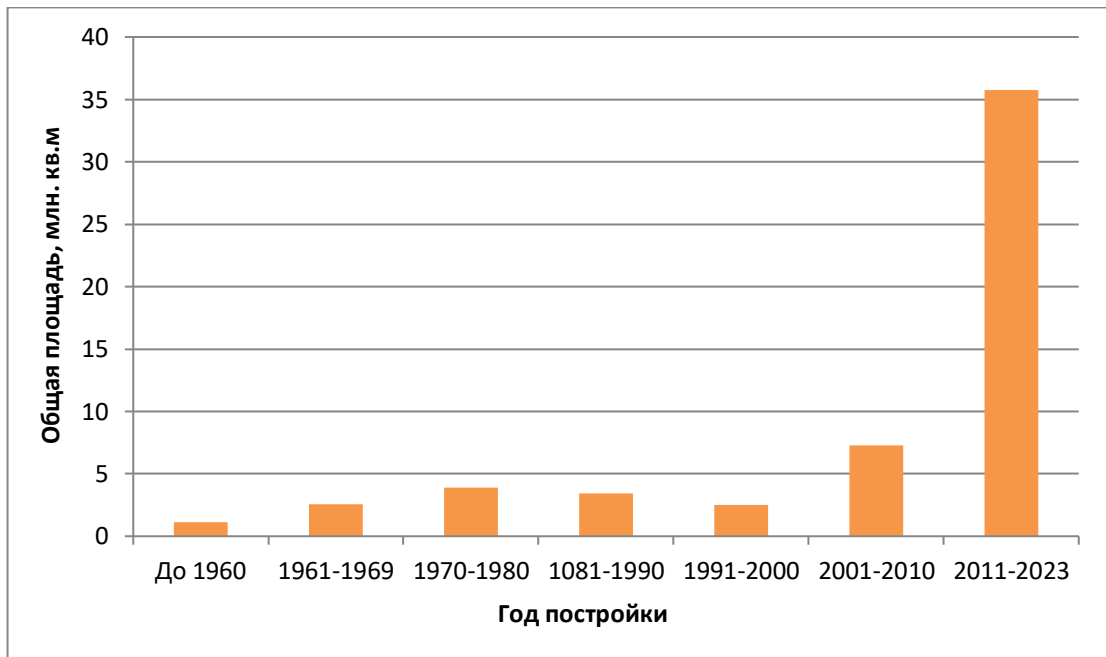


Рисунок 118 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки

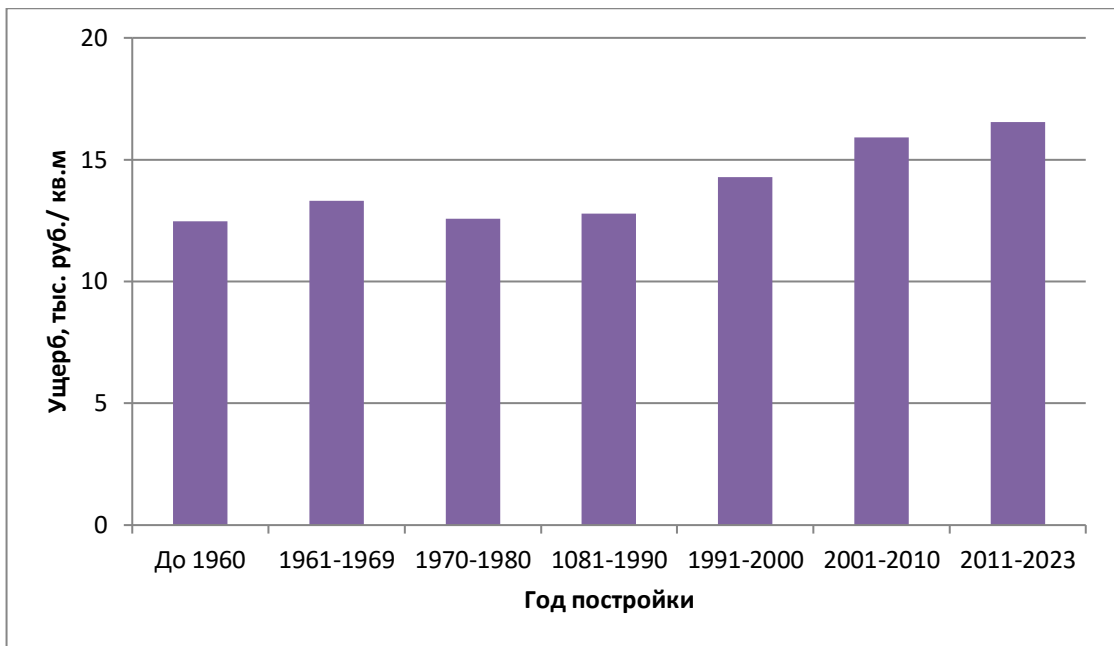


Рисунок 119 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки

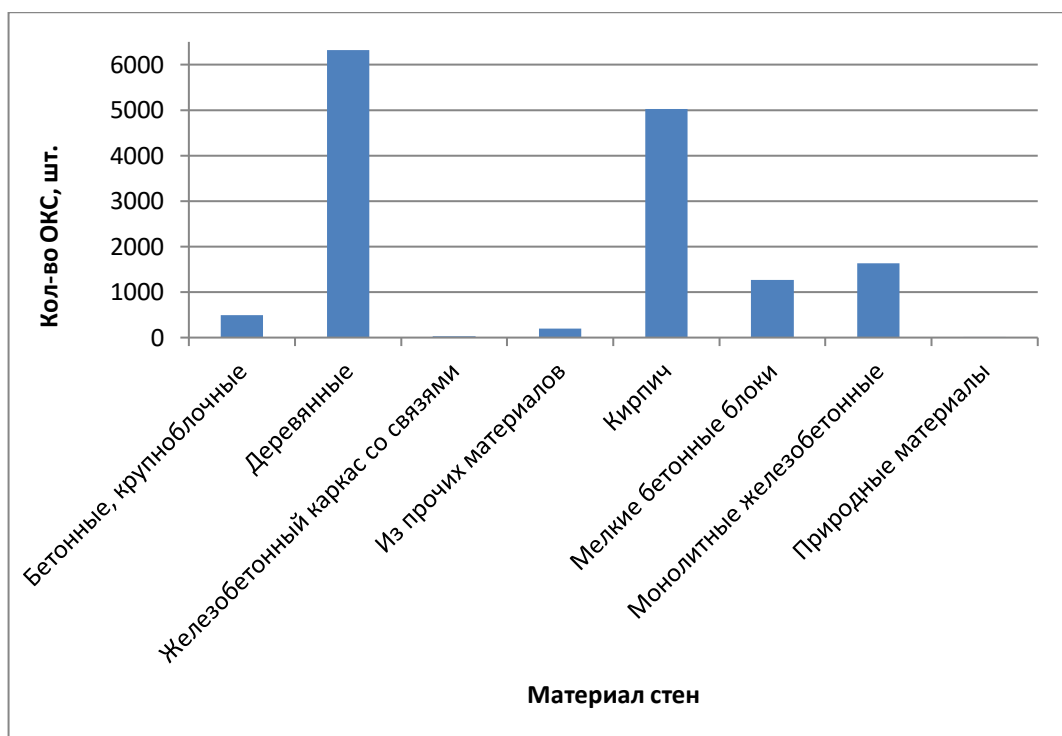


Рисунок 120 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен



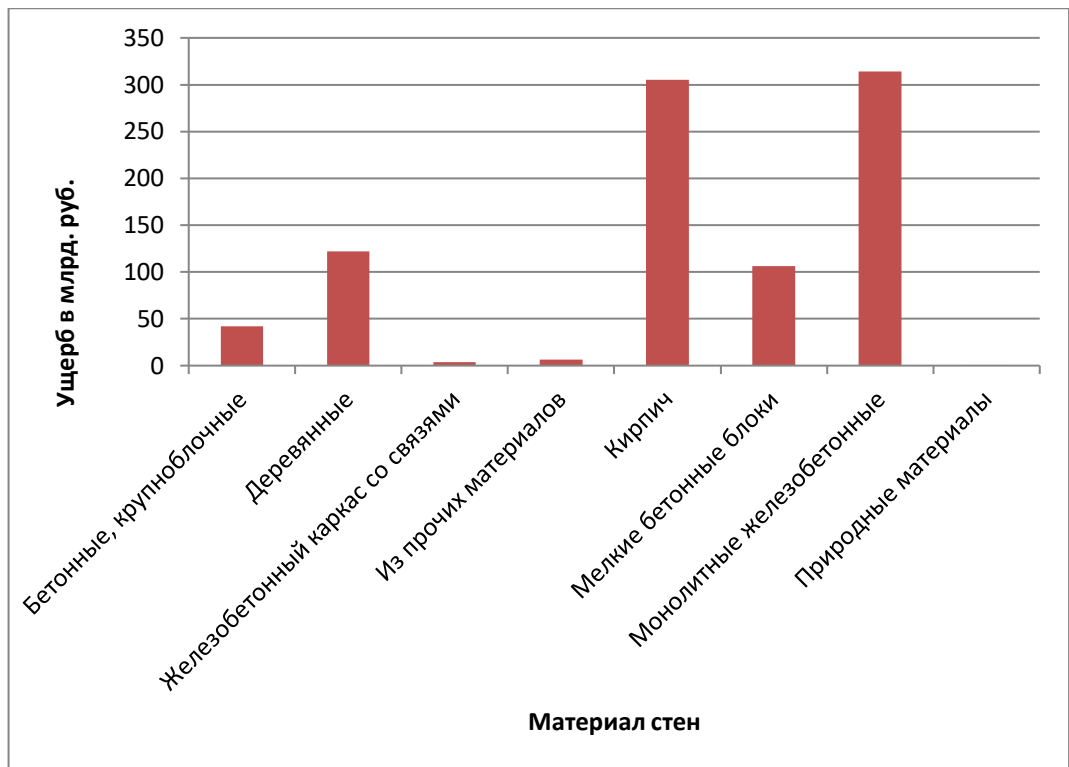


Рисунок 121 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

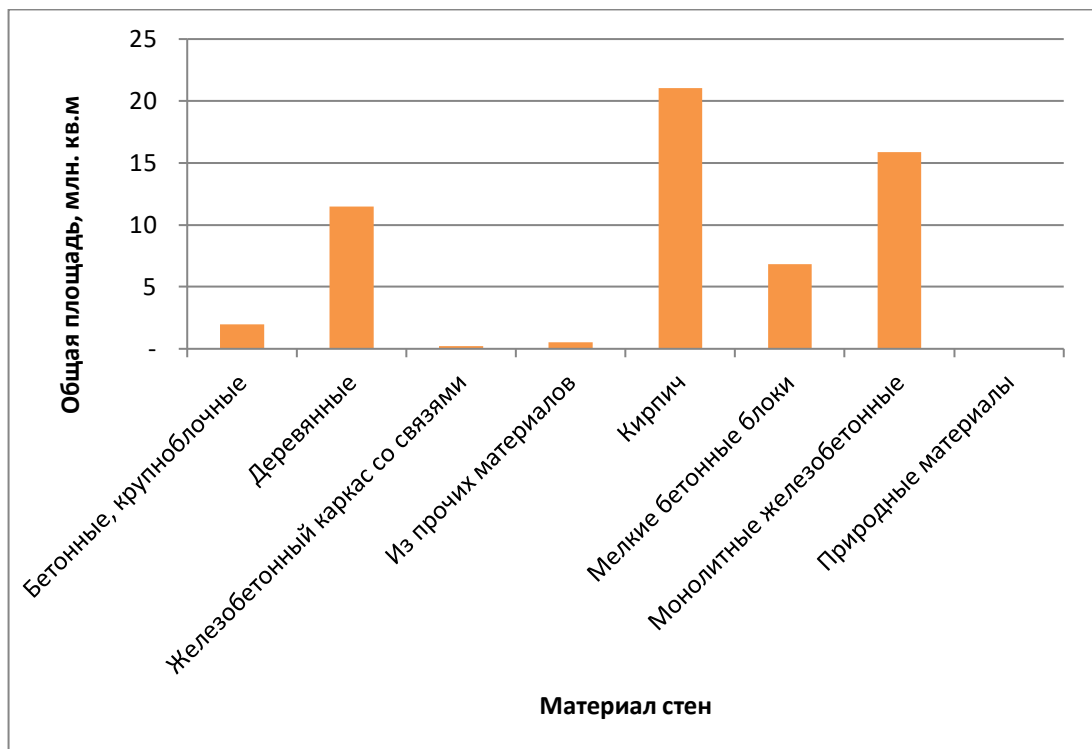


Рисунок 122 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

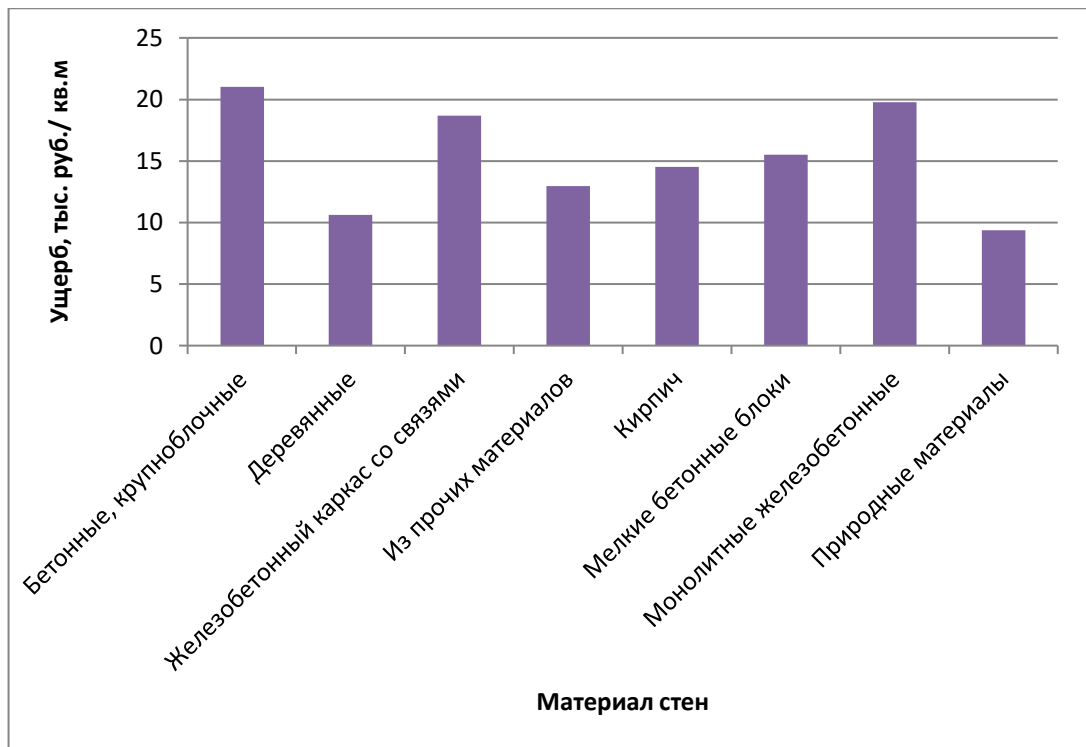


Рисунок 123 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

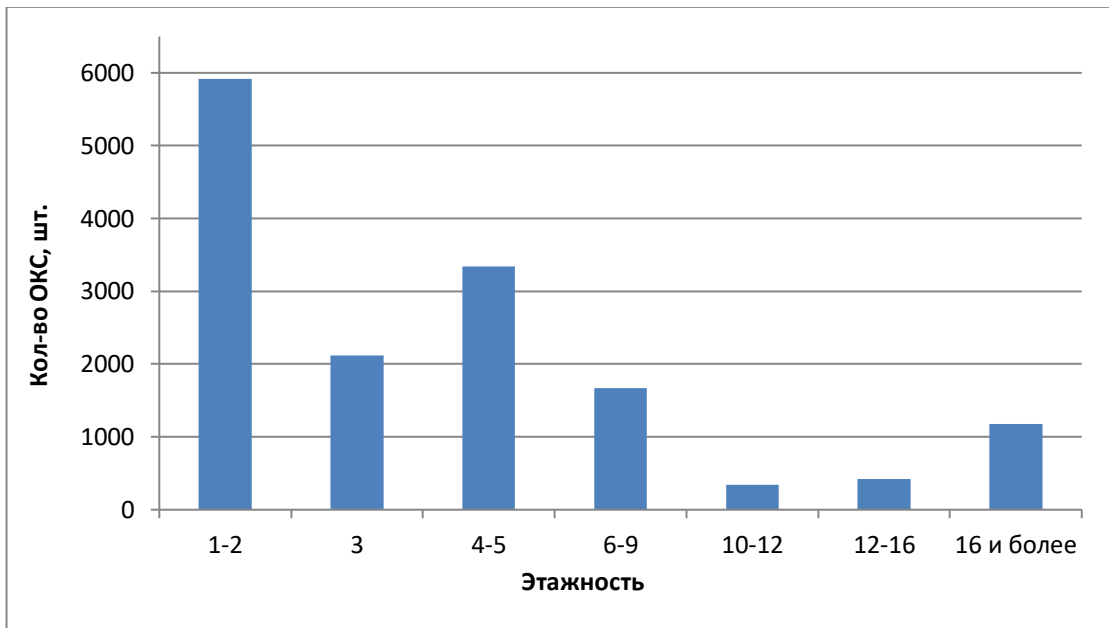


Рисунок 124 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

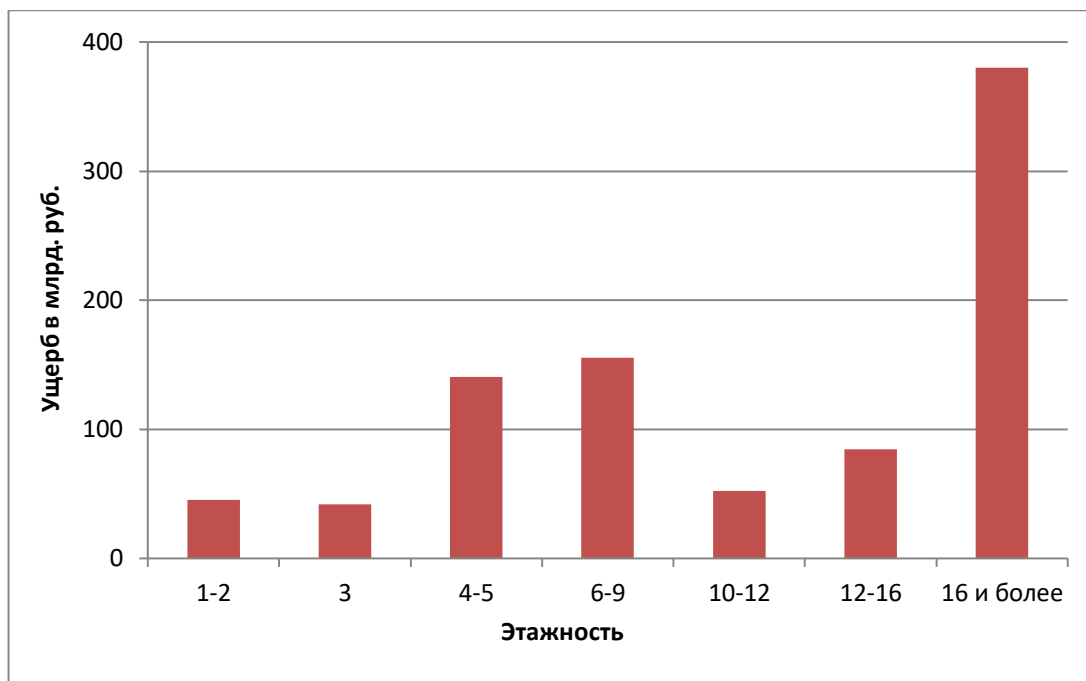


Рисунок 125 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

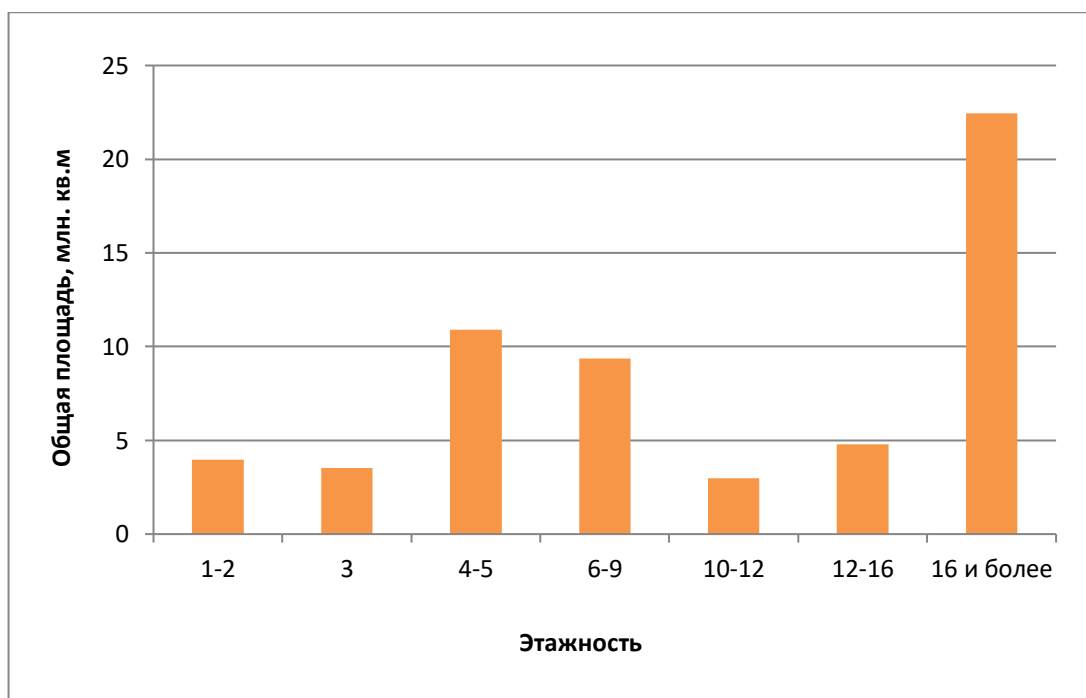


Рисунок 126 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

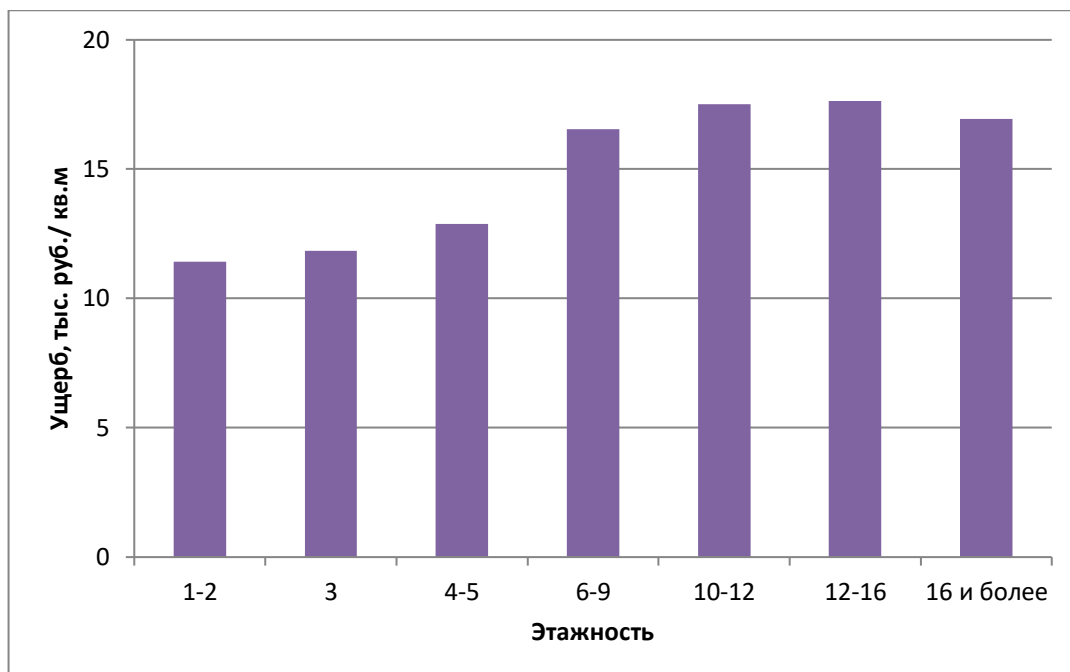


Рисунок 127 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

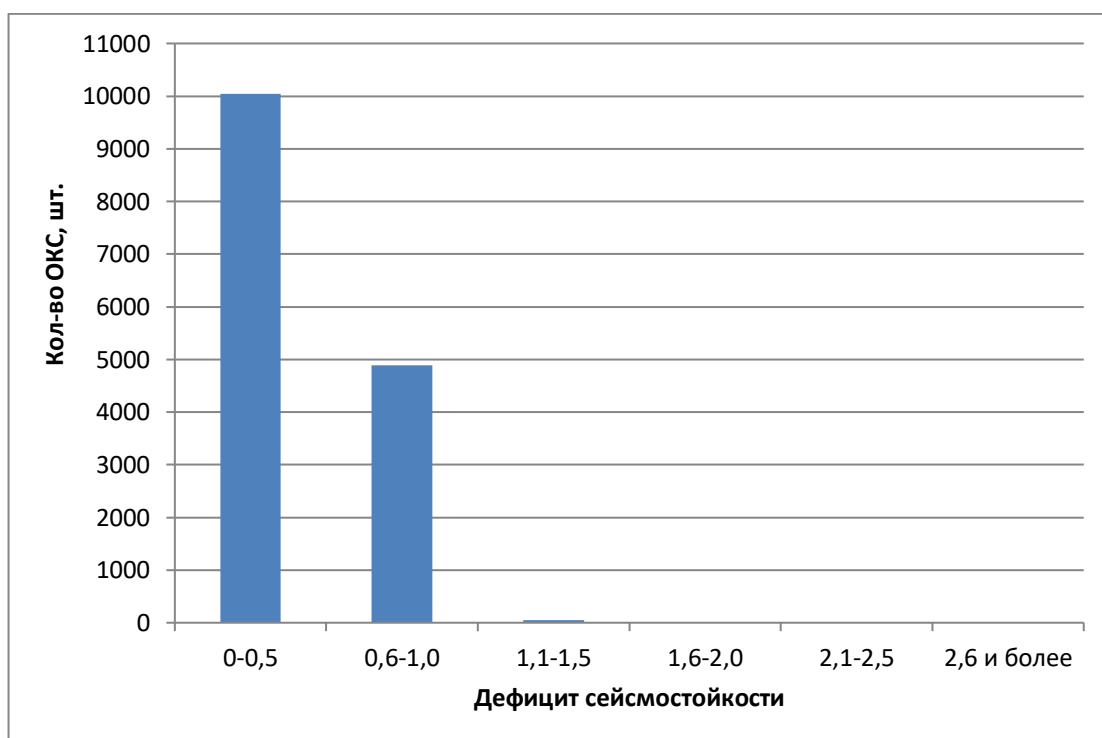


Рисунок 128 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

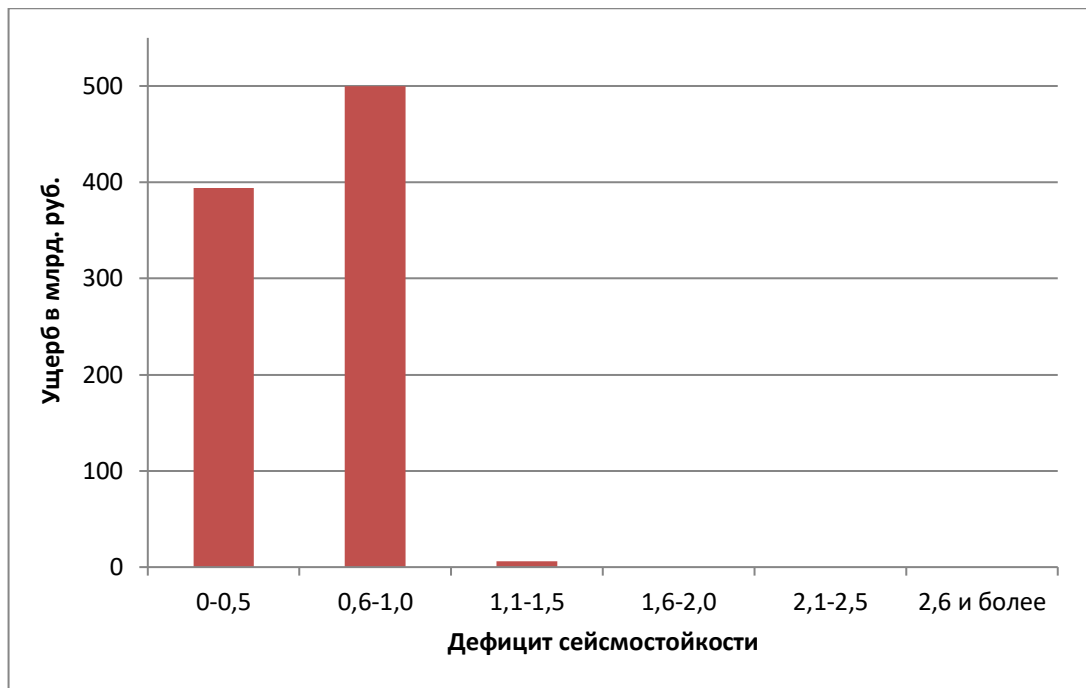


Рисунок 129 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

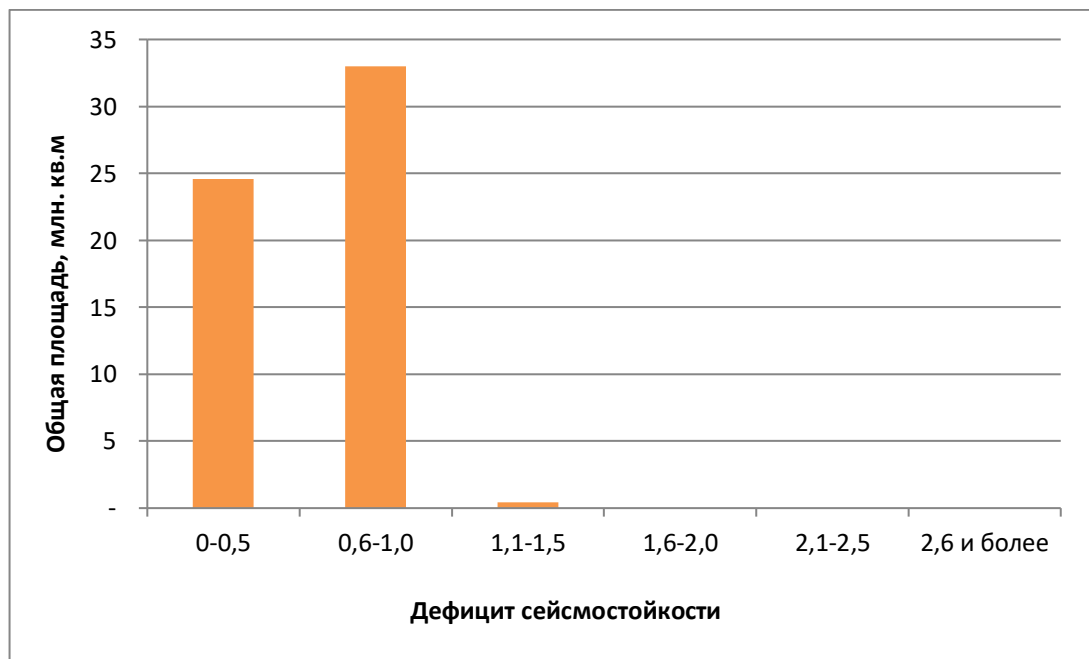


Рисунок 130 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

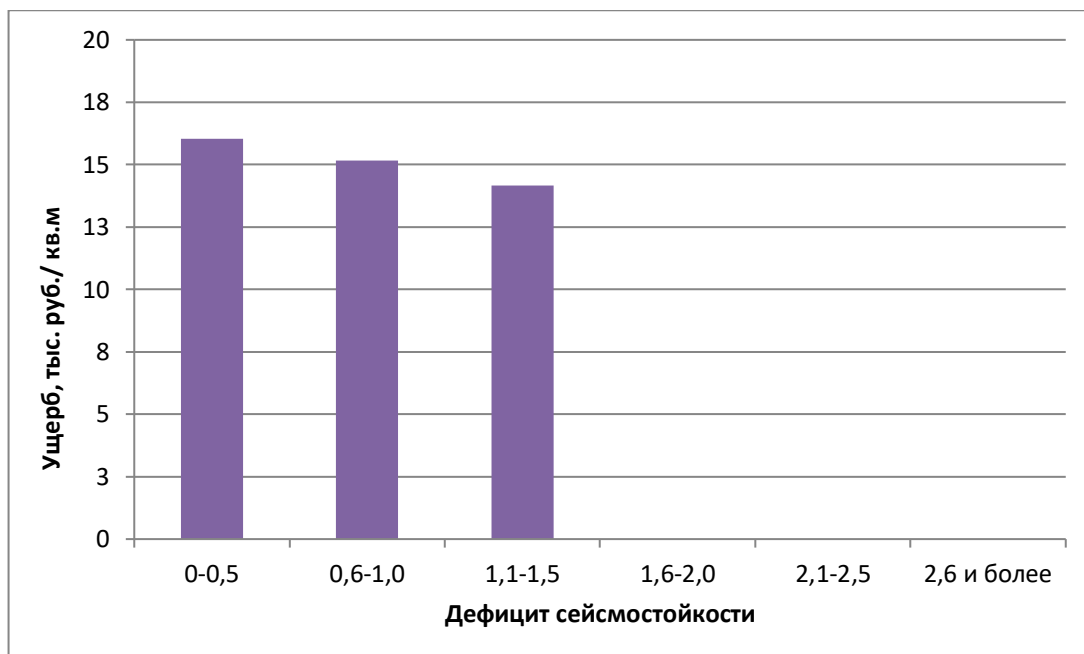


Рисунок 131 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

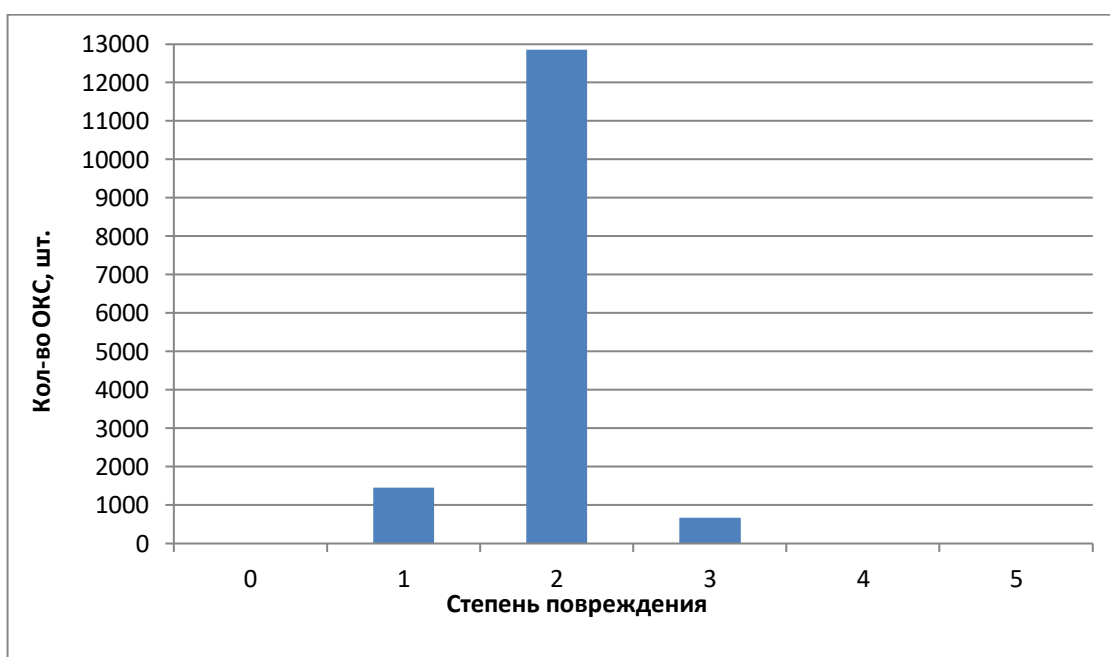


Рисунок 132 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения

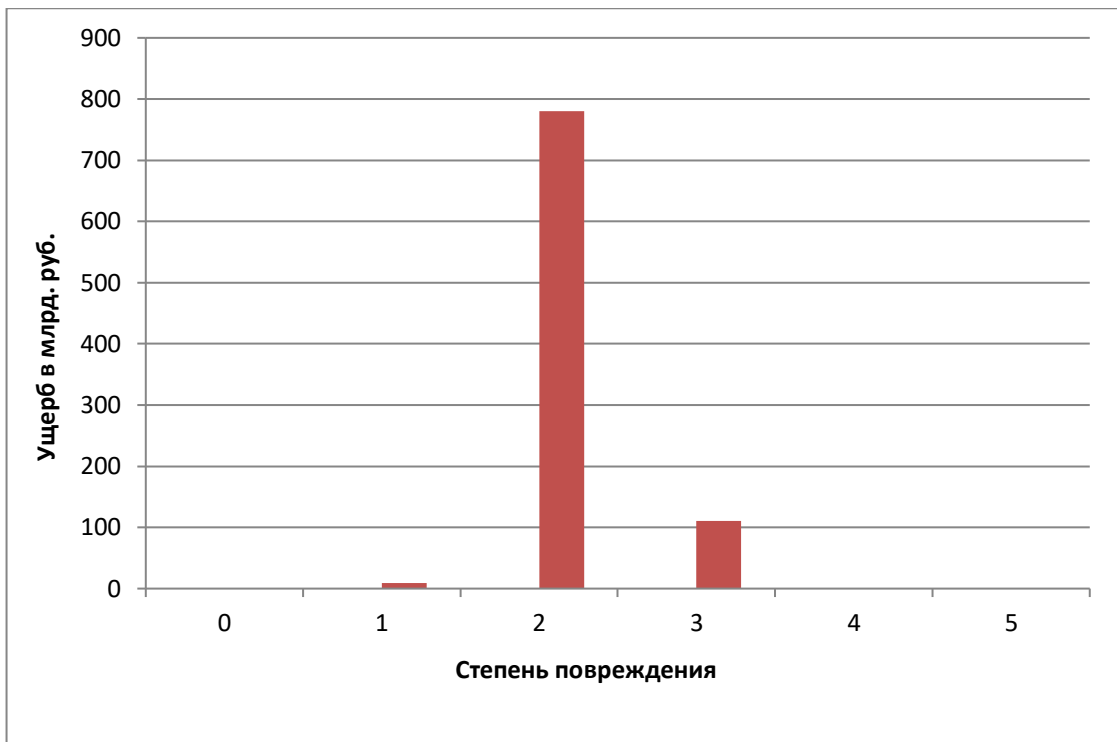


Рисунок 133 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения



Рисунок 134 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

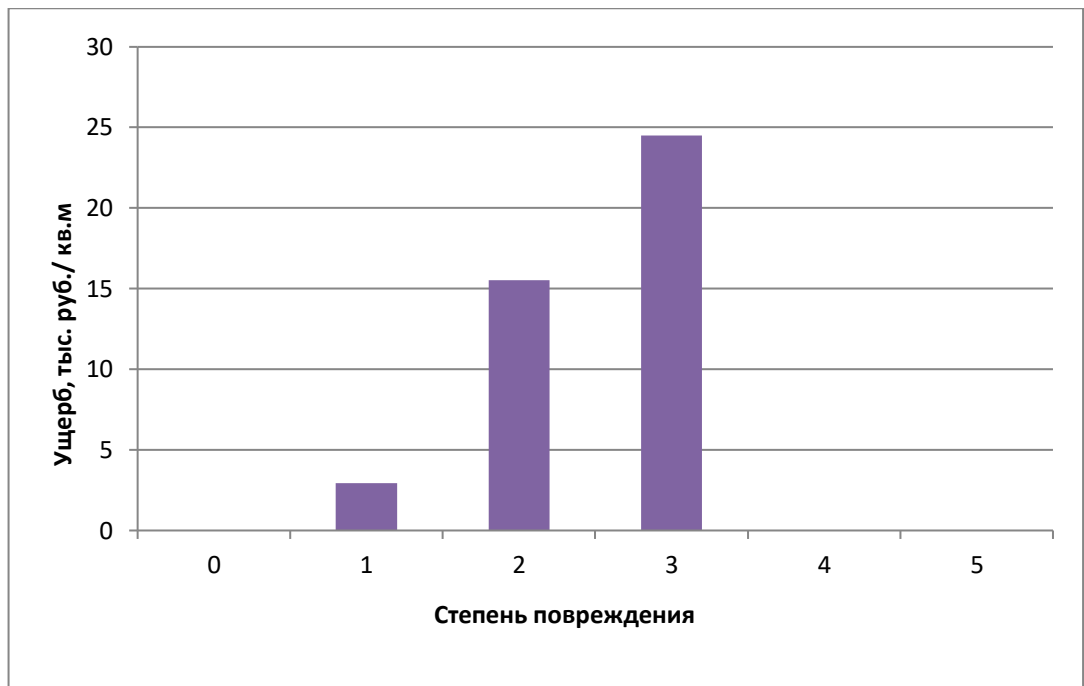


Рисунок 135 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

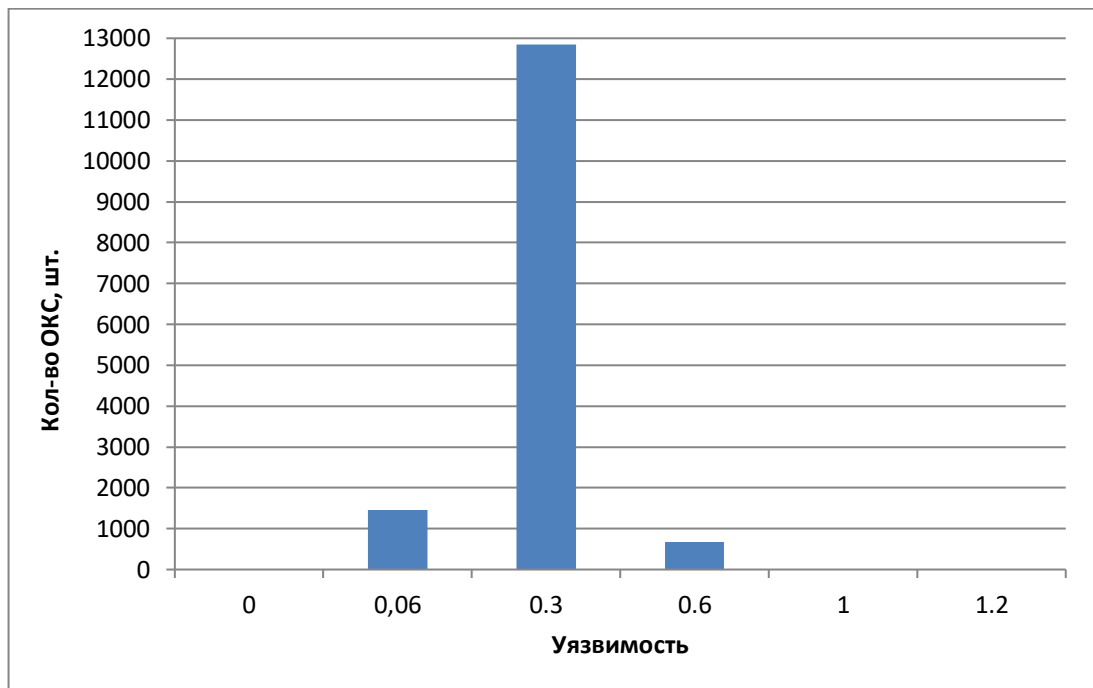


Рисунок 136 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью



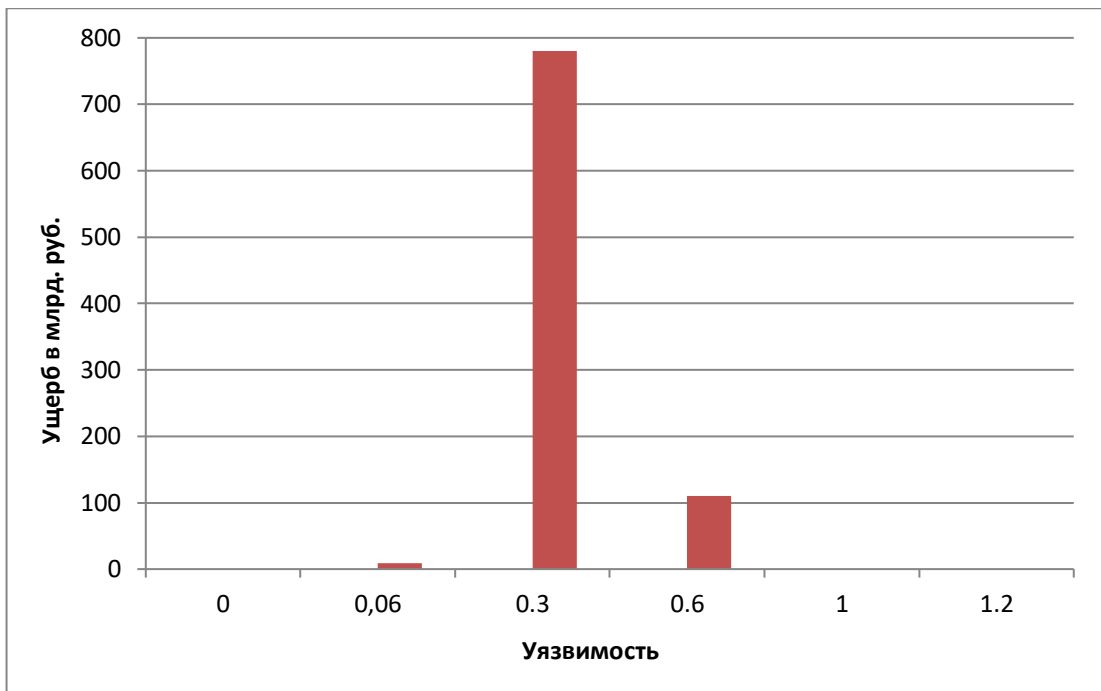


Рисунок 137 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

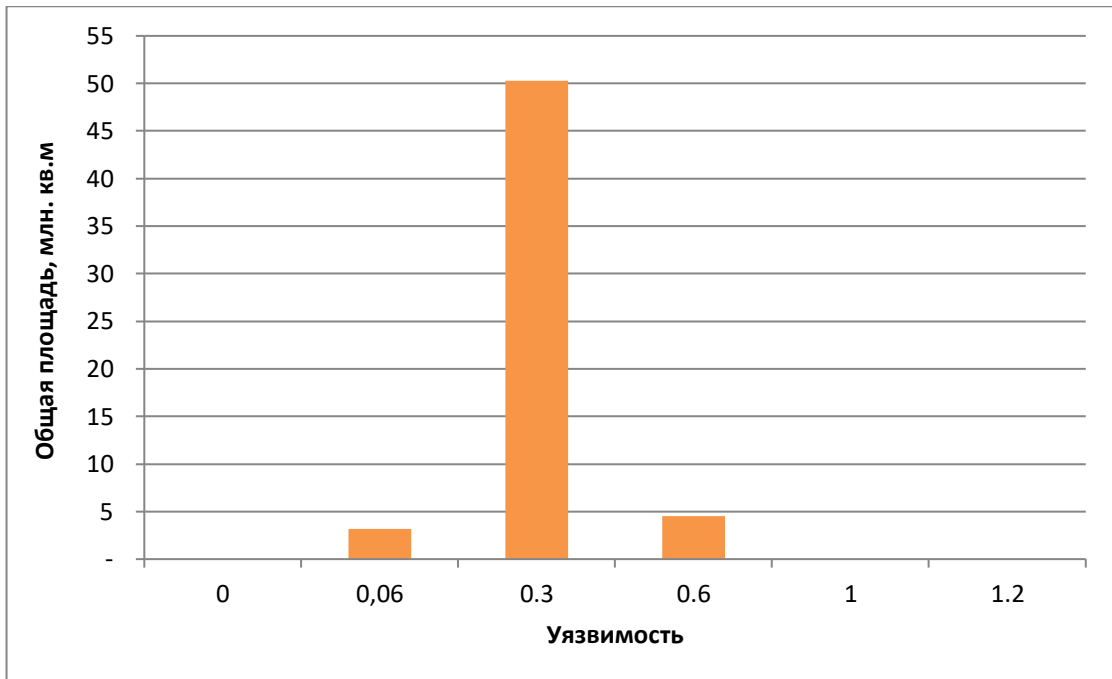


Рисунок 138 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

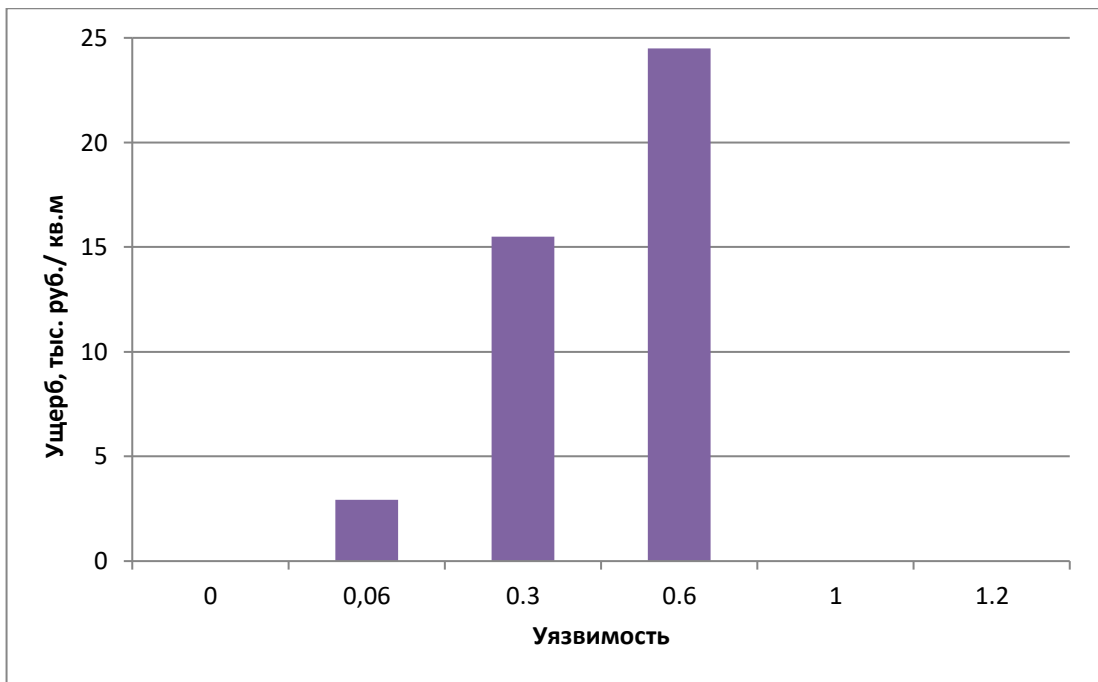


Рисунок 139 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью

## 5.4 Чеченская республика

Исходные данные по Чеченской республике насчитывают сведения по 2146 ОКС (Приложение Ж). Суммарная площадь построек составила 472767 м<sup>2</sup>. Численность населения составляет 1533209 человек.

На рисунке ниже (Рисунок 140) показано расположение ОКС, и их кадастровая стоимость.

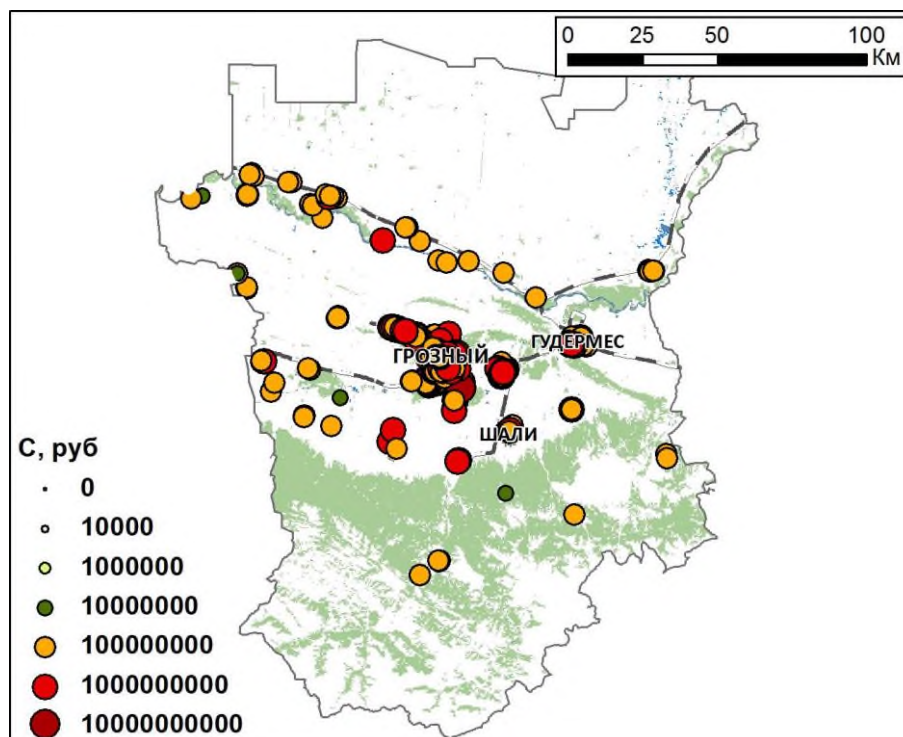


Рисунок 140 – Положение ОКС на территории Чеченской республики

В соответствии с описанной ранее методикой в расчетном модуле была выполнена генерация синтетического каталога землетрясений на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015) длительностью 50 000 лет. Всего синтетический каталог насчитывает 620 313 землетрясений. Из них 13 082 землетрясения способны вызвать ущерб для ОКС Чеченской республики, вошедших в расчет (Рисунок 141).

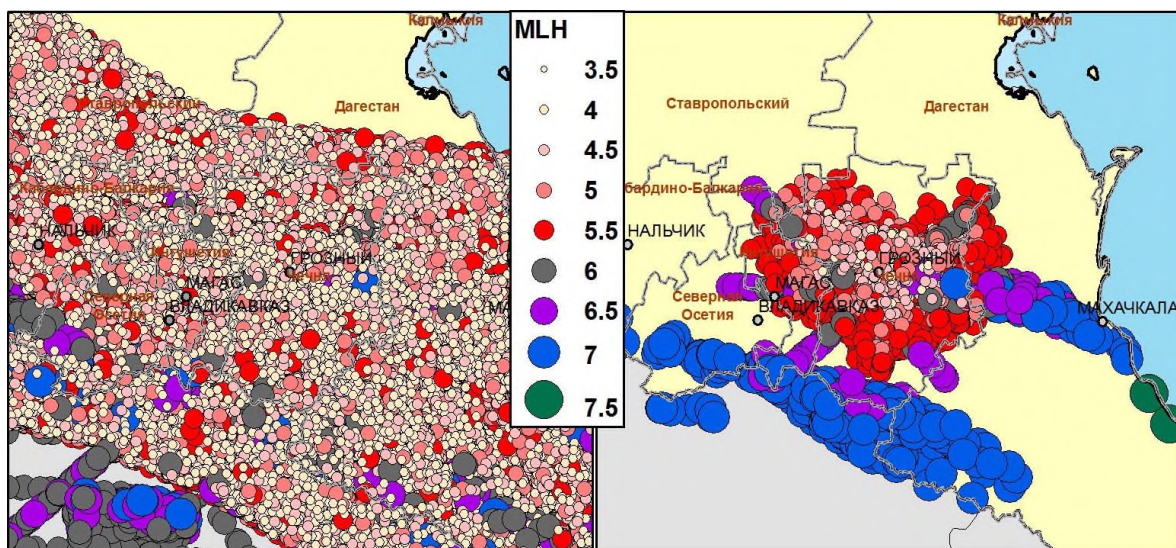


Рисунок 141 – А) Каталог землетрясений, синтезированный на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015); Б) Землетрясения, способные вызвать ущерб для ОКС Чеченской республики

На рисунке ниже (Рисунок 142) землетрясения синтезированного каталога дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Чеченской республики.

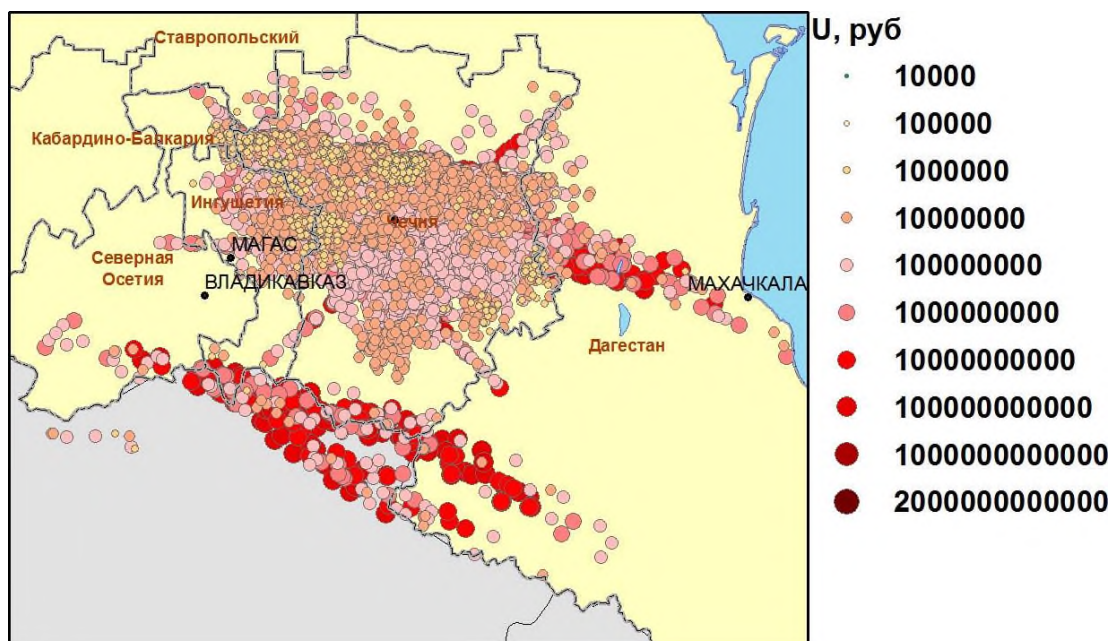


Рисунок 142 – Землетрясения дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Чеченской республики

Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб приведен в таблице ниже (Таблица 34).

Таблица 34 – Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб

№ лин.	M <sub>ЛН</sub>	Параметры очага				Координаты гипоцентра		
		длина, км	ширина, км	азимут, °	угол падения, °	Lat, °	Lon, °	Z, км
107	7.1	76.0	26.0	108.6506	147.93556	43.26	45.81	10.32

Синтезированный каталог землетрясений был разделен на выборки по 500, 1000, 5000 лет. Оценки максимального вероятного ущерба, по каждой выборке приведены в таблице ниже (Таблица 35).

Таблица 35 – Оценки макс. вероятного ущерба

№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб
1	159 381	21	271 654	41	94 946	61	271 079	81	121 000
2	47 399	22	102 563	42	44 528	62	71 701	82	104 687
3	88 916	23	197 344	43	109 711	63	73 846	83	207 278
4	96 674	24	108 058	44	70 424	64	231 765	84	48 645
5	77 917	25	47 400	45	97 053	65	100 406	85	239 342
6	254 111	26	93 872	46	114 761	66	61 111	86	276 861
7	46 049	27	87 499	47	292 191	67	40 937	87	47 676
8	95 957	28	177 545	48	96 620	68	34 934	88	239 577
9	90 066	29	270 131	49	70 947	69	157 184	89	113 954
10	83 988	30	82 964	50	81 817	70	80 906	90	113 239
11	81 282	31	48 497	51	41 058	71	56 752	91	79 732
12	256 655	32	84 421	52	74 479	72	90 034	92	143 700
13	58 194	33	102 031	53	84 160	73	107 793	93	124 028
14	79 185	34	41 964	54	105 518	74	113 811	94	264 106
15	101 189	35	144 980	55	90 635	75	142 066	95	114 100
16	105 885	36	103 231	56	128 152	76	96 175	96	114 016
17	49 461	37	122 289	57	174 119	77	95 382	97	272 011
18	83 399	38	54 520	58	72 390	78	45 213	98	230 113
19	232 014	39	92 172	59	94 725	79	88 811	99	83 528
20	246 983	40	94 742	60	75 246	80	69 831	100	116 599

Основной ущерб во всех временных выборках обеспечен землетрясениями на линеаментах № 61, 88, 106, 107, 121 (Рисунок 143).

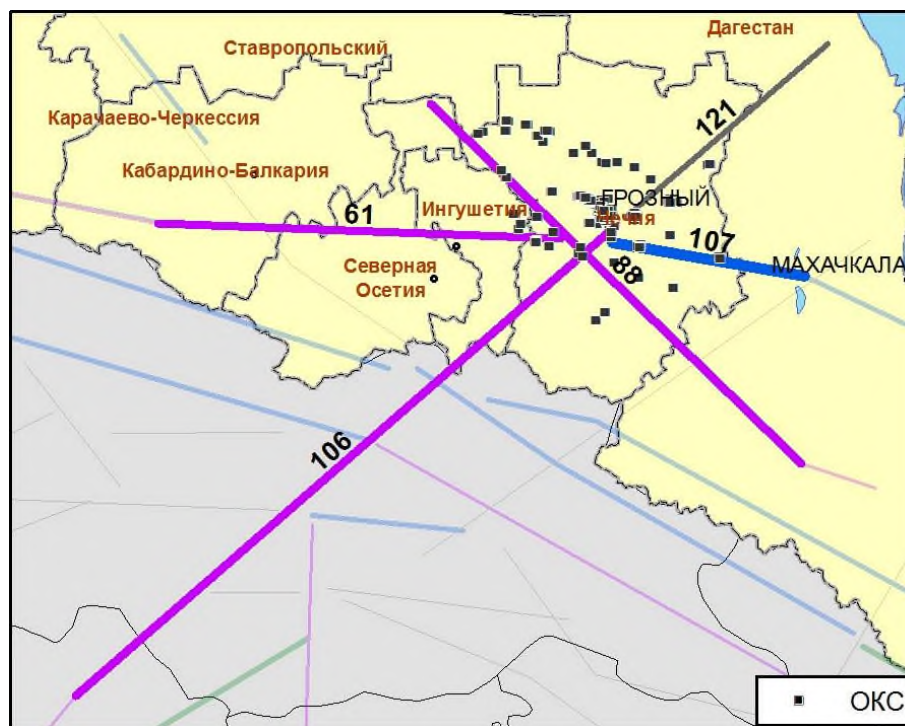


Рисунок 143 – Линеаменты, обеспечивающие максимальный разовый ущерб ОКС Чеченской республики

В таблице ниже (Таблица 36) приведены прогнозные оценки ущербов от нормированного и единичного землетрясений, с учетом периодов повторяемости воздействий.

Таблица 36 – Оценки вероятного ущерба от нормированного и единичного землетрясения

Ущерб от единичного нормированного землетрясения по карте ОСР-А, руб.	<b>97 548 629 430</b>
Ущерб от максимального единичного землетрясения, руб.	<b>247 890 113 683</b>

Таким образом, выполнена апробация разработанного модуля по оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе данных по Чеченской республики.

Максимальный ущерб ОКС Чеченской республики от разового землетрясения составил **247 890 113 683 руб.**

Оценки ущерба от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет составило:

ОСР-2015-А (500 лет) – **97 548 629 430** руб.

Результаты расчета ущерба приведены в Приложении И.

Ниже приведены результаты анализа и обработки полученных данных в соответствии с разработанной методикой и критериями.

На рисунках (Рисунок 144 – Рисунок 168) приведены результаты анализа полученных данных расчета по ОКС Краснодарского края от разового максимального землетрясения.

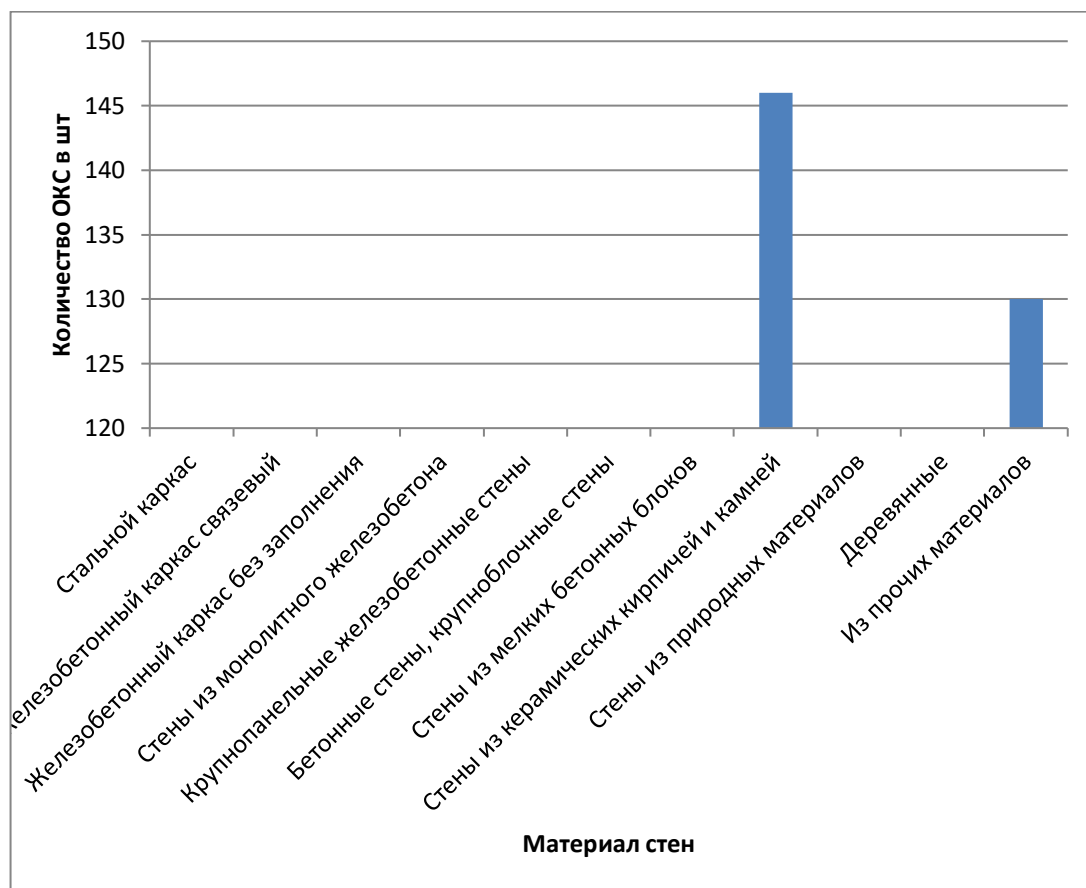


Рисунок 144 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

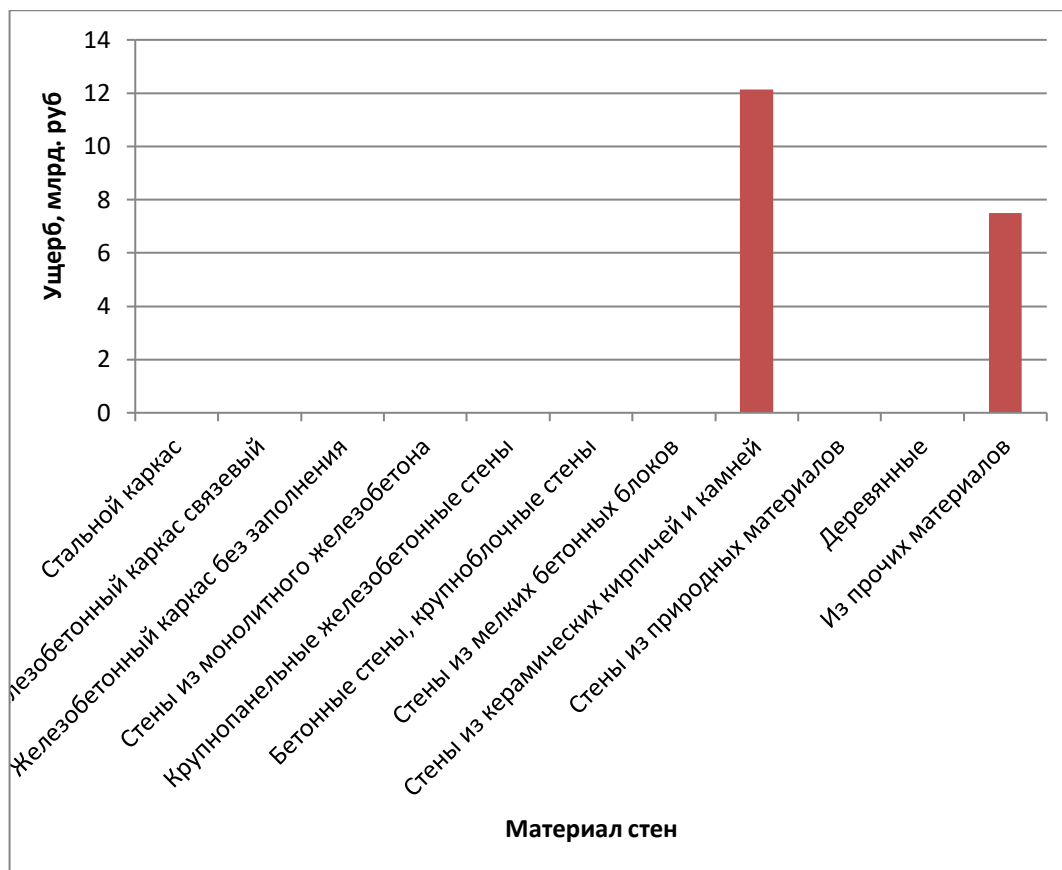


Рисунок 145 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

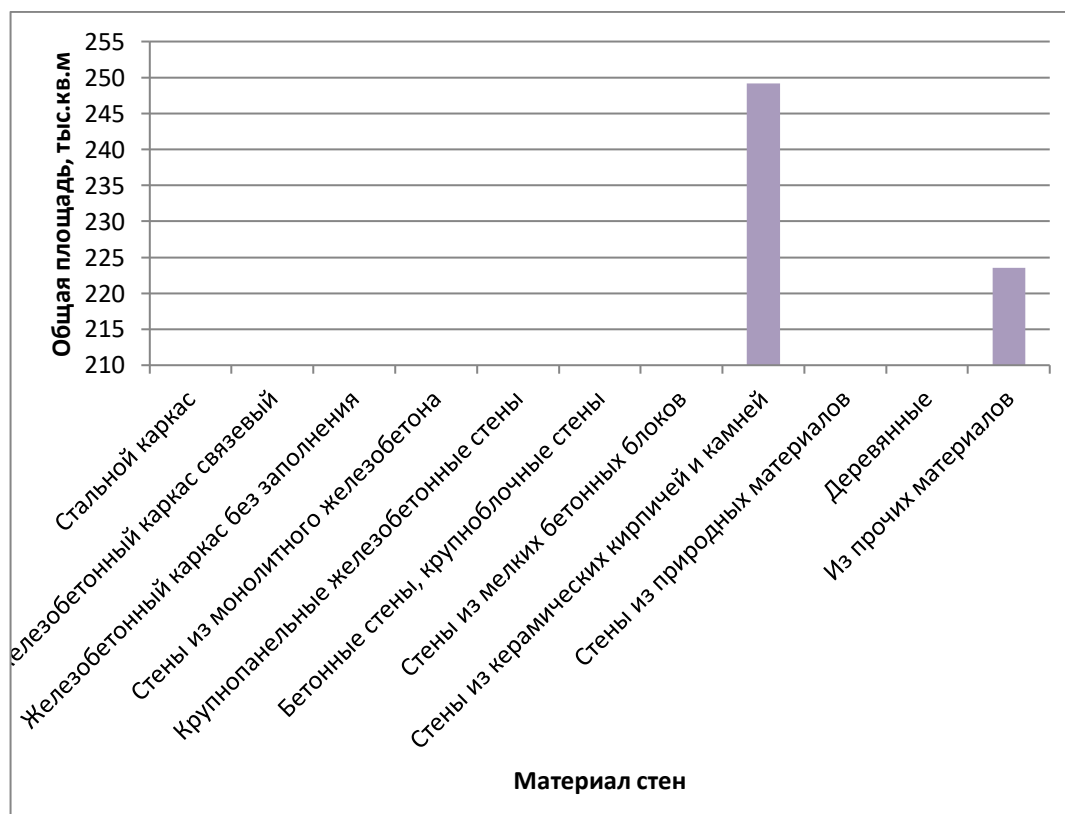


Рисунок 146 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен



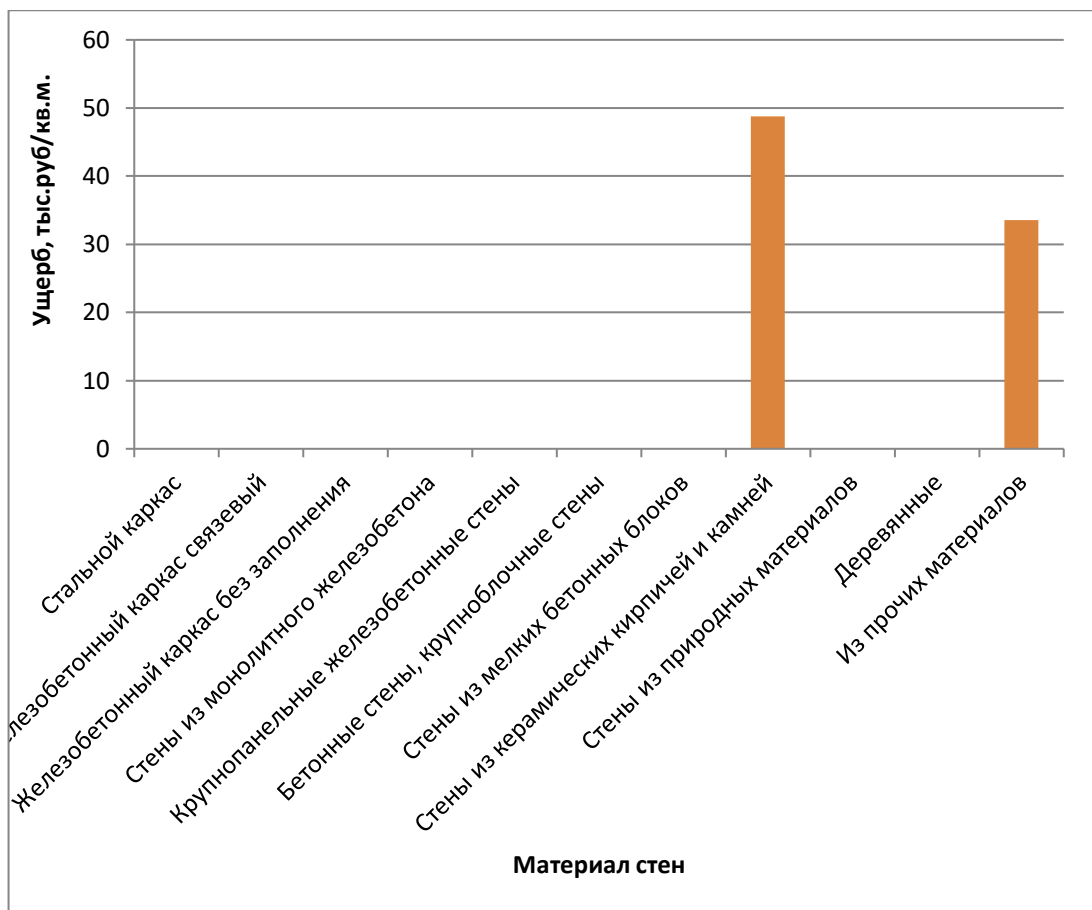


Рисунок 147 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

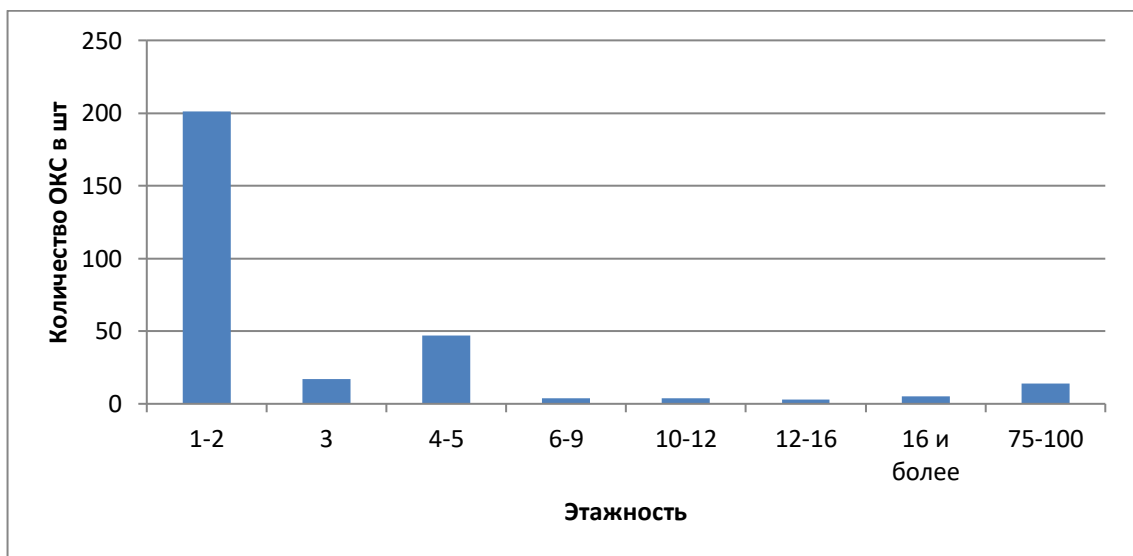


Рисунок 148 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

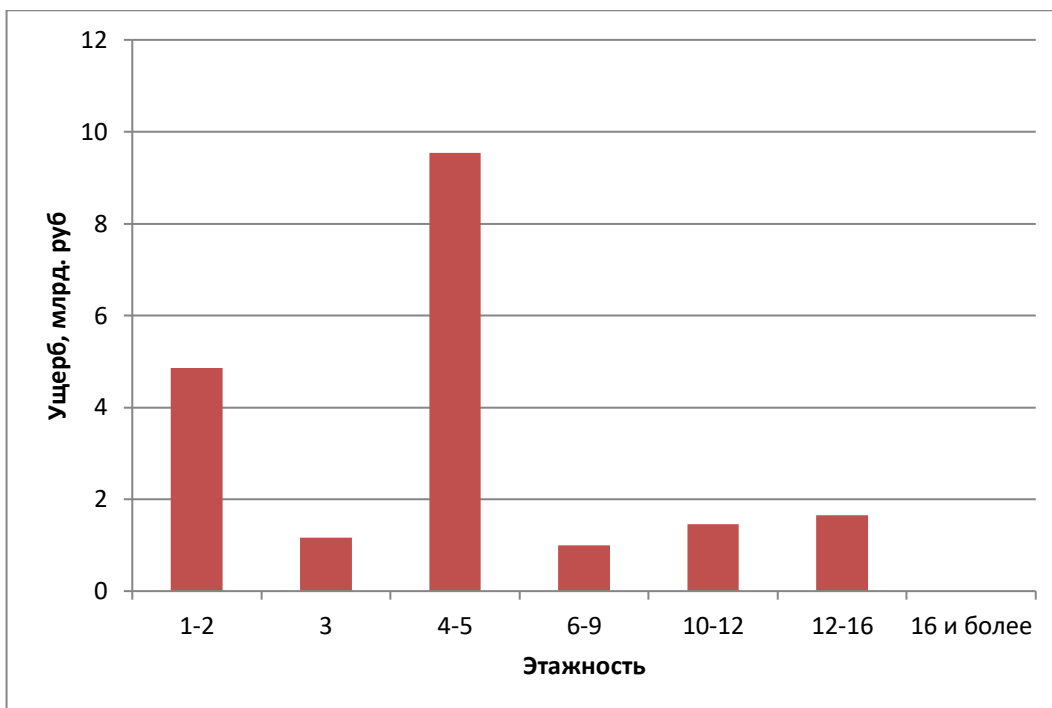


Рисунок 149 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

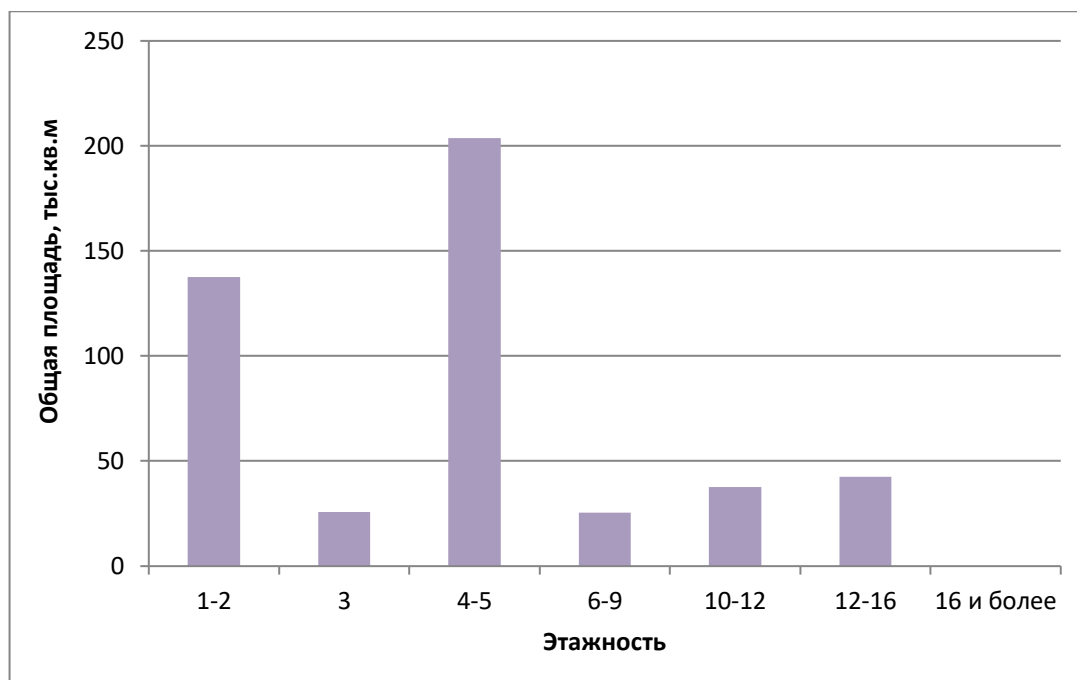


Рисунок 150 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

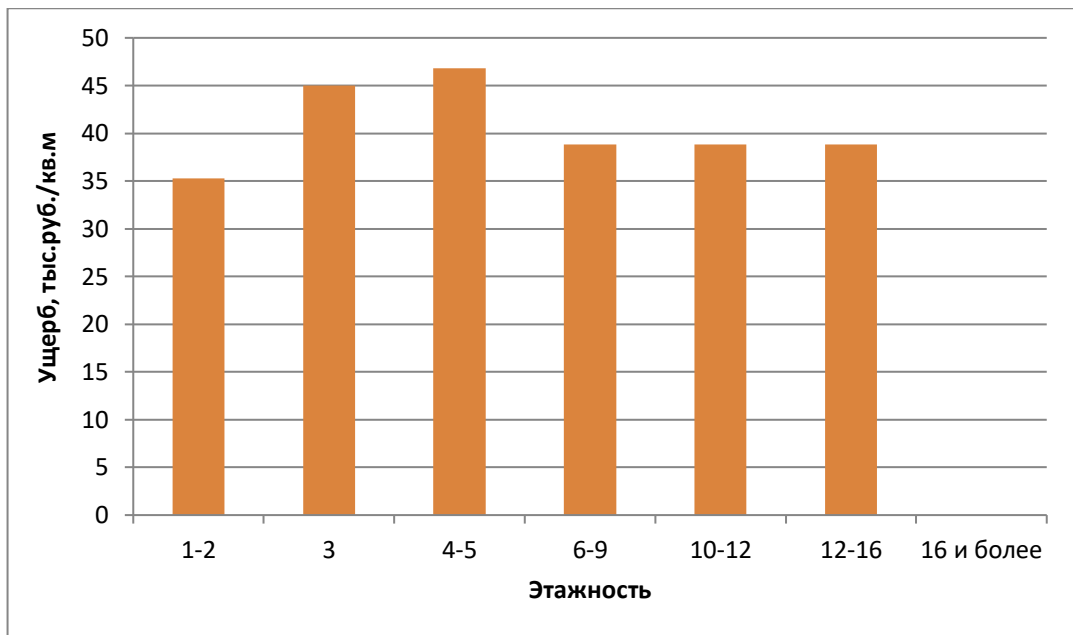


Рисунок 151 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

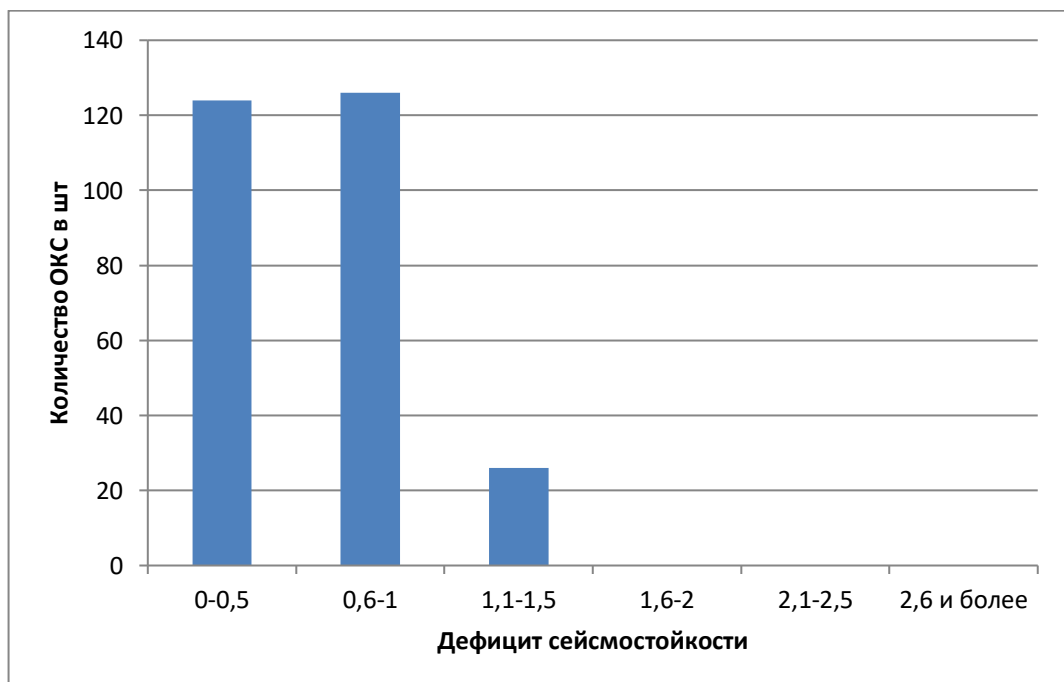


Рисунок 152 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

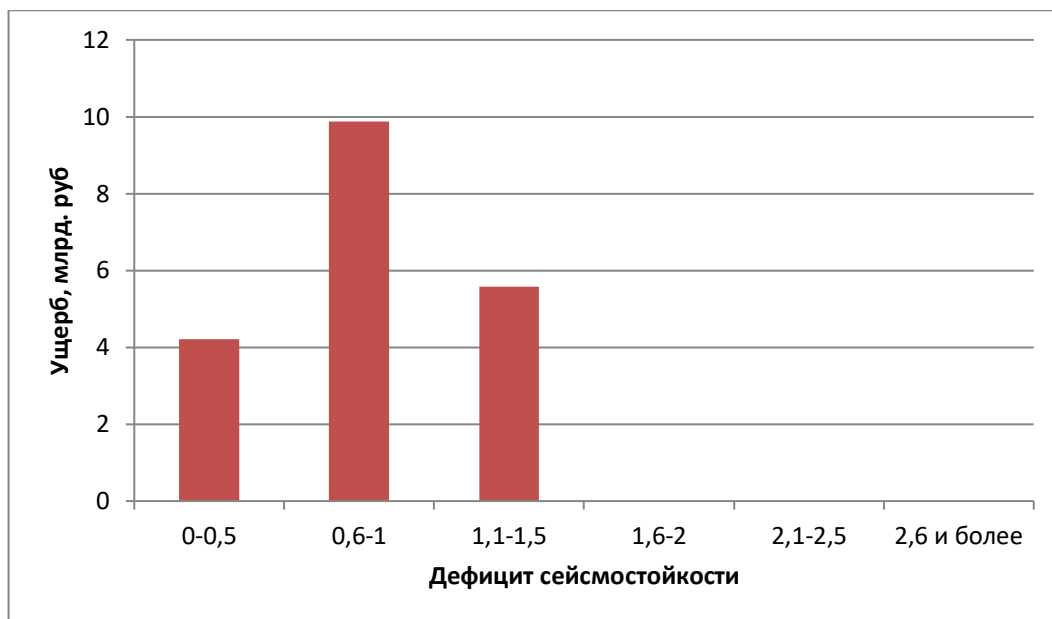


Рисунок 153 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

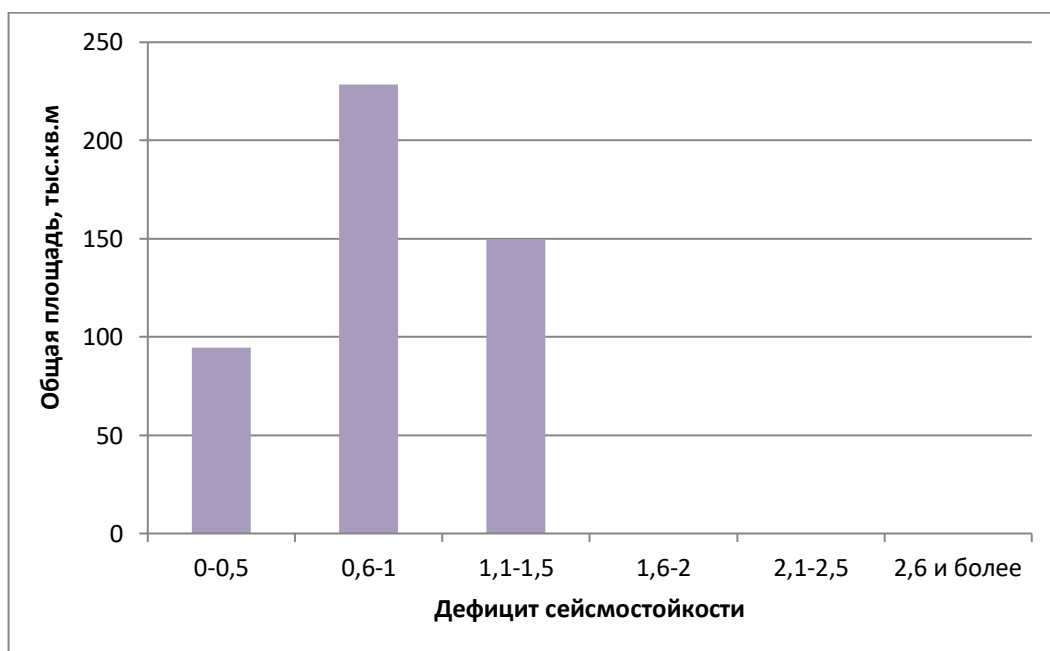


Рисунок 154 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

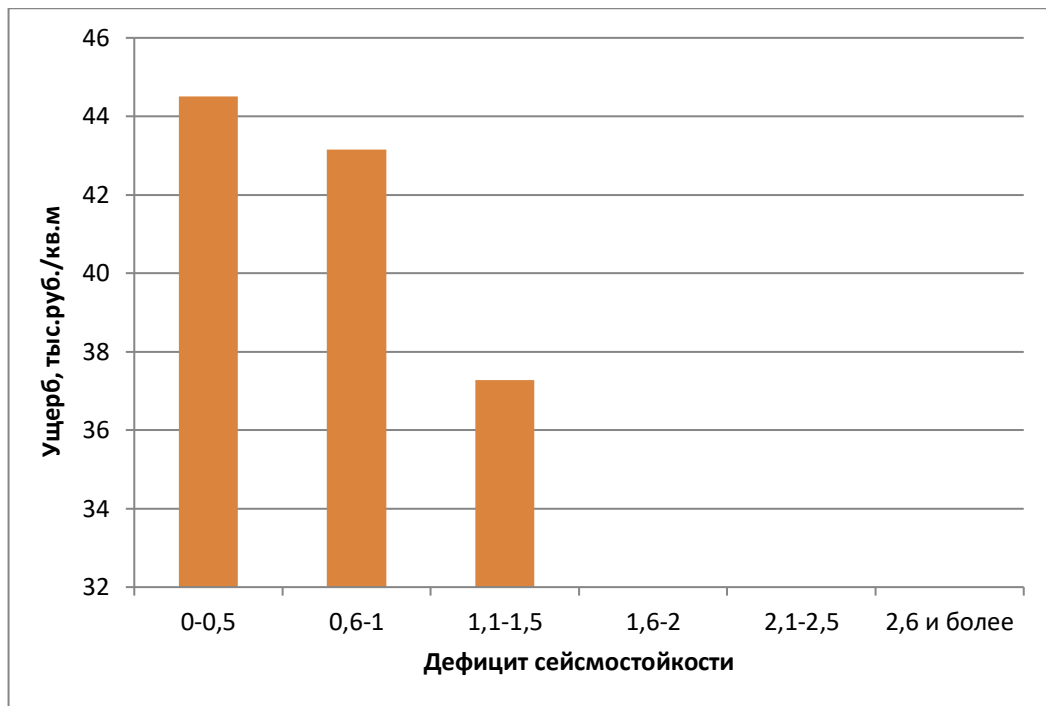


Рисунок 155 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

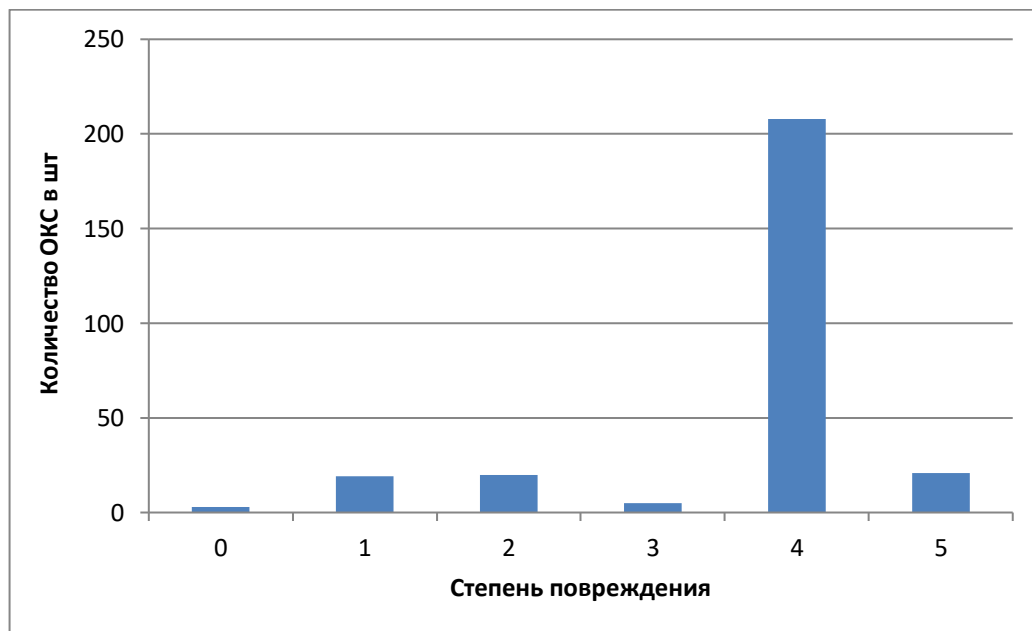


Рисунок 156 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения



Рисунок 157 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения

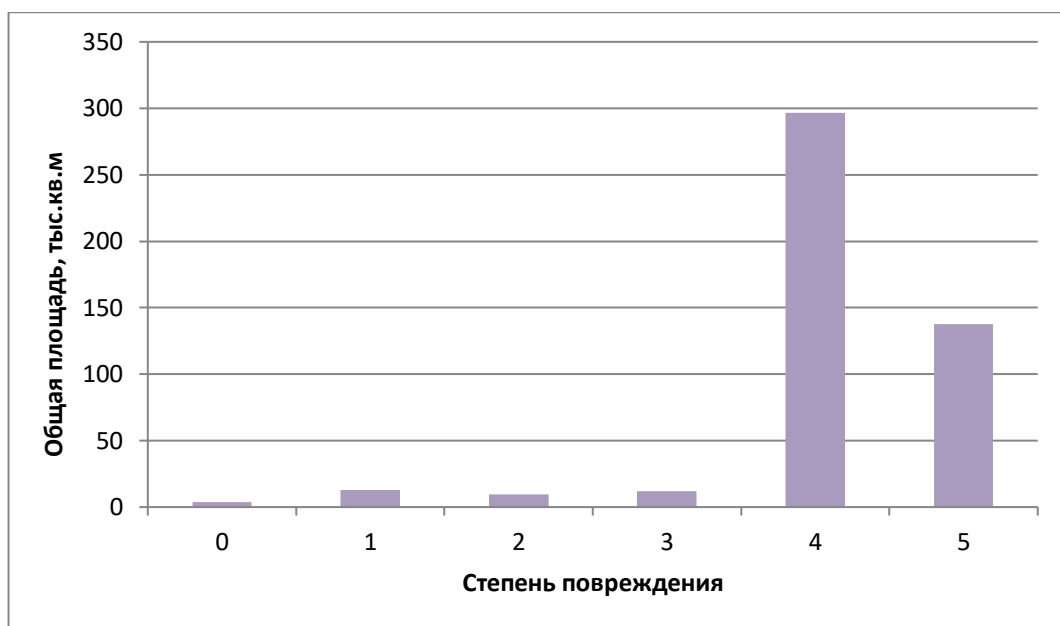


Рисунок 158 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

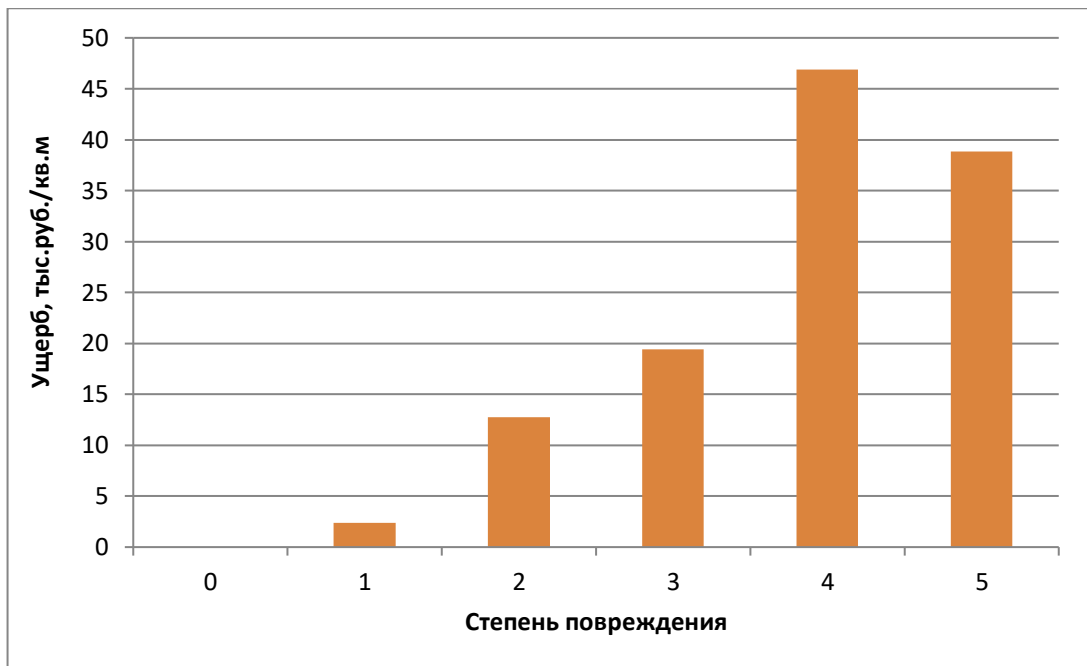


Рисунок 159 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

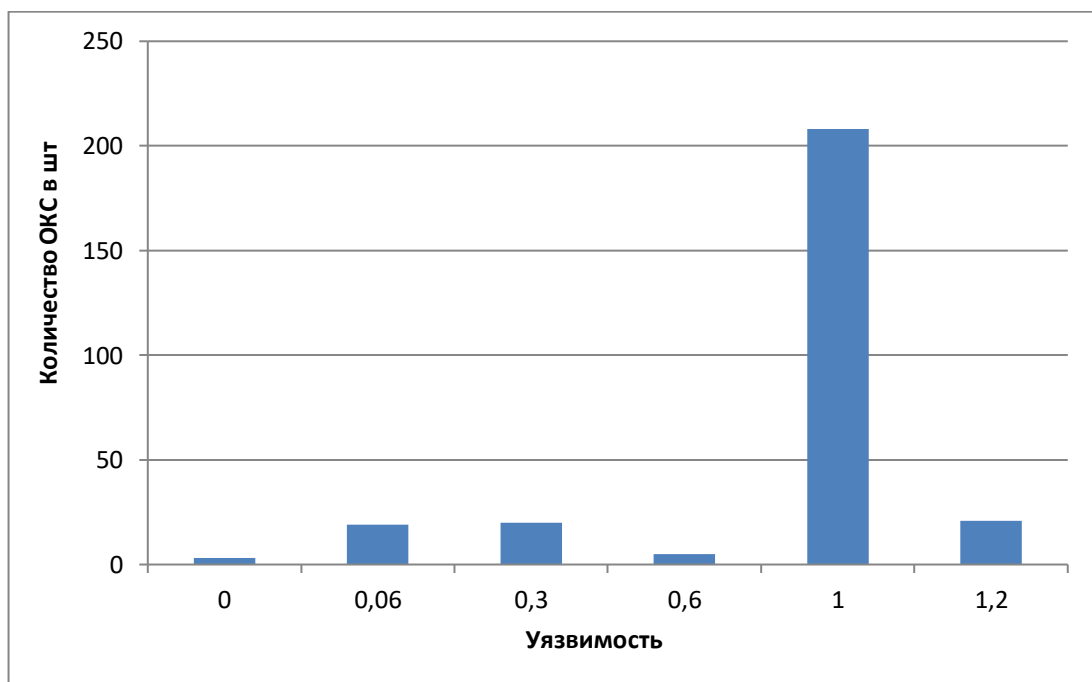


Рисунок 160 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

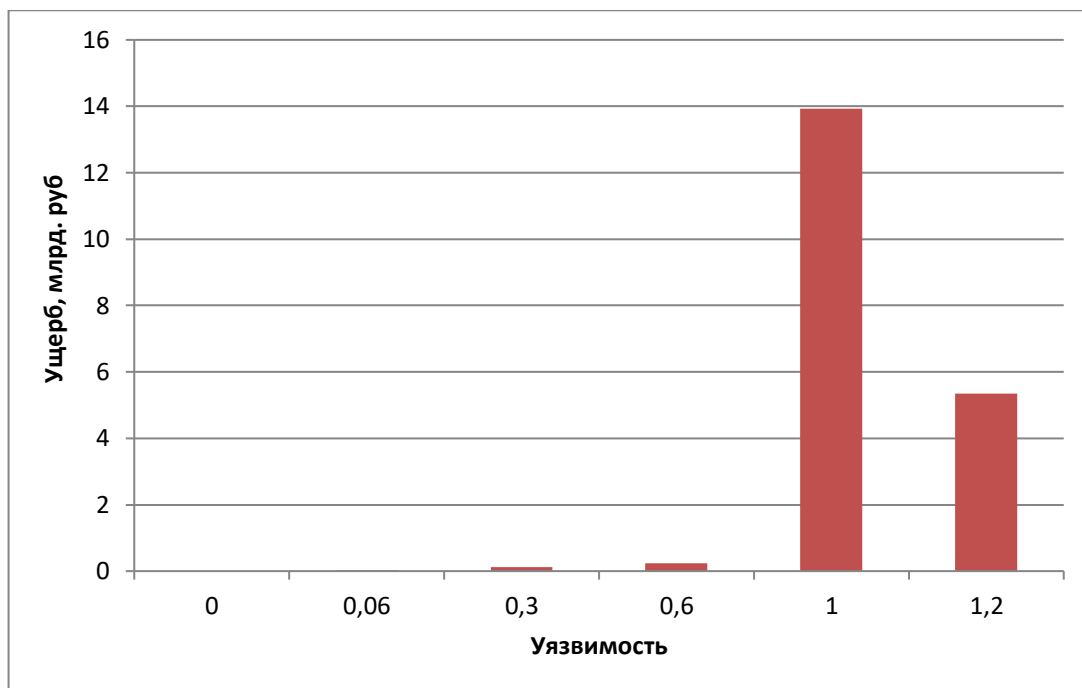


Рисунок 161 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

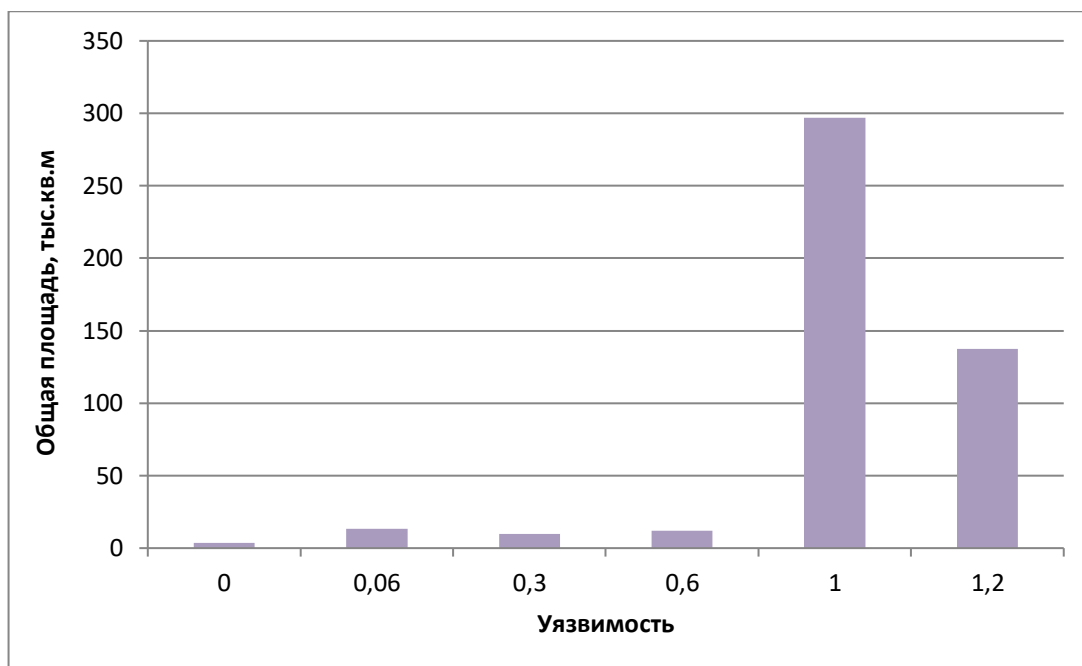


Рисунок 162 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью



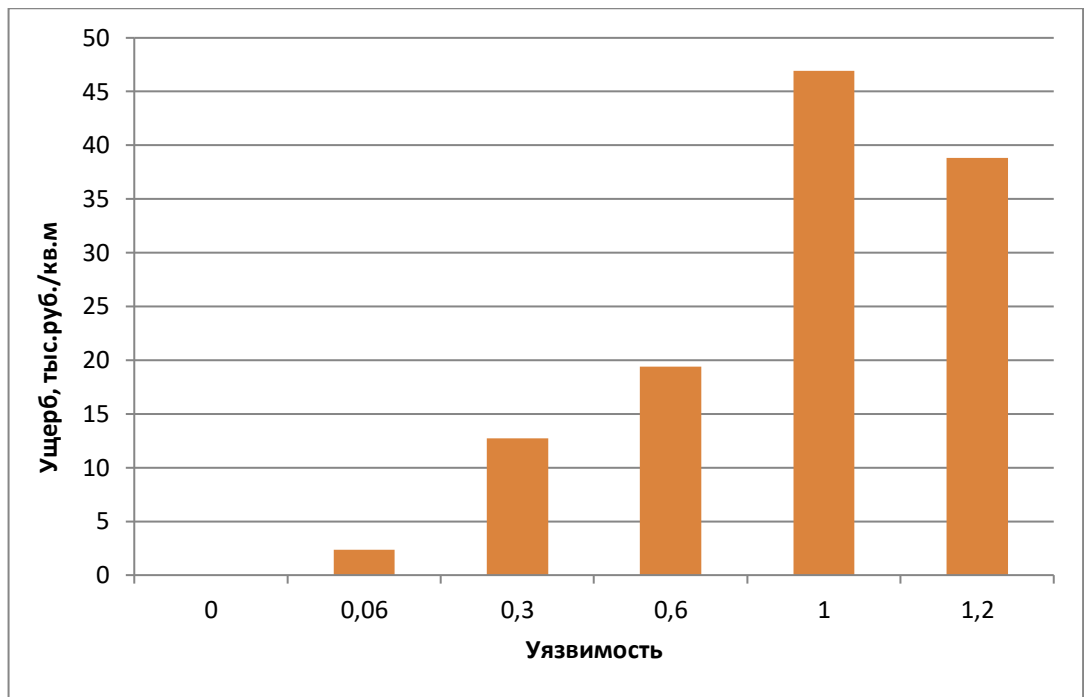


Рисунок 163 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью



Рисунок 164 – Количество единиц ОКС в соответствии с балльностью повреждения



Рисунок 165 – Величина ущерба в соответствии с балльностью повреждения



Рисунок 166 – Количество жилой площади в соответствии с балльностью повреждения



Рисунок 167 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с бальностью повреждения

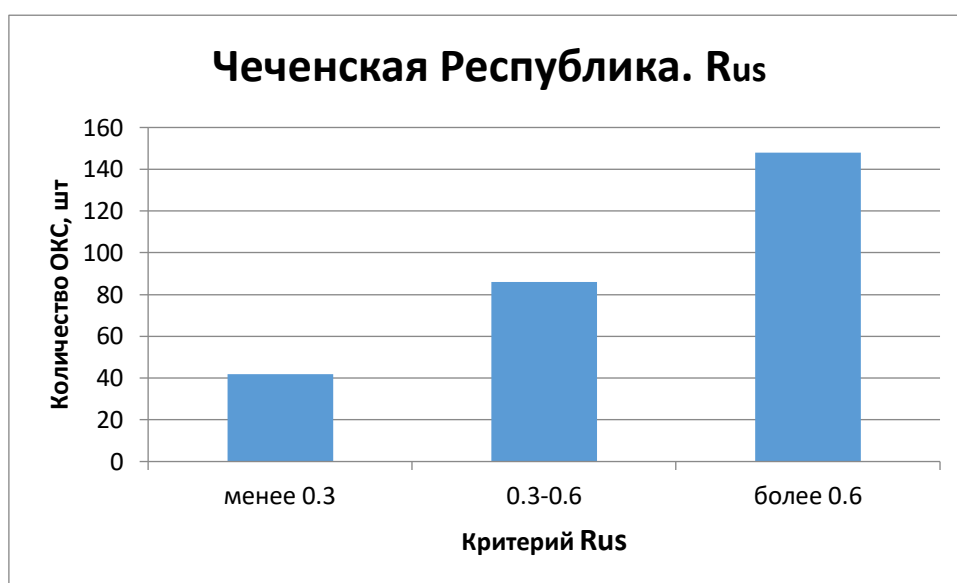


Рисунок 168 – Классификация ОКС по критерию  $R_{us}$

## 5.5 Камчатский край

Исходные данные по Камчатскому краю насчитывают сведения по 2229 ОКС (Приложение К). Суммарная площадь построек составила 3401656 м<sup>2</sup>. Численность населения составляет 289033 человек.

На рисунке ниже (Рисунок 169) показано расположение ОКС, и их кадастровая стоимость.

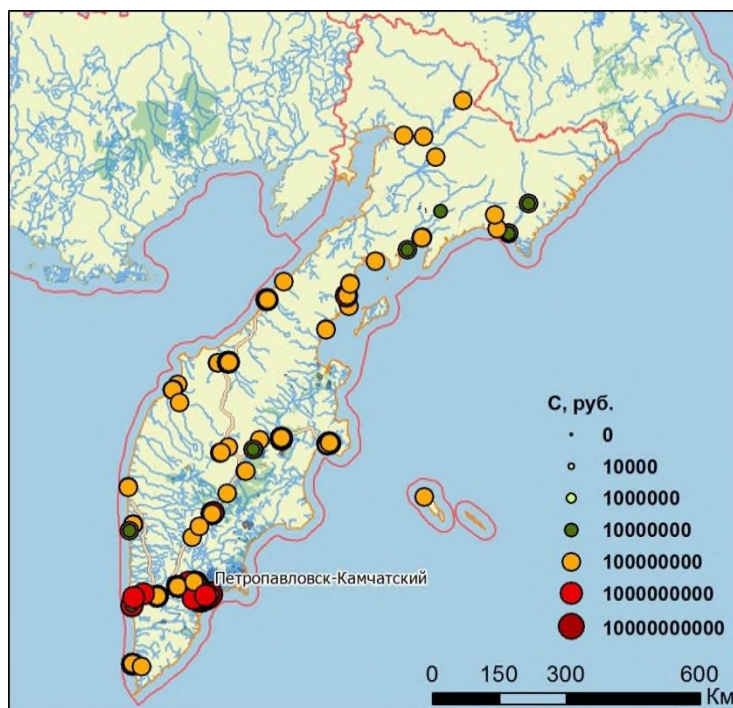


Рисунок 169 – Положение ОКС на территории Камчатского края

В соответствии с описанной ранее методикой в расчетном модуле была выполнена генерация синтетического каталога землетрясений на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015) длительностью 50 000 лет. Всего синтетический каталог насчитывает 1 121 096 землетрясений. Из них 37 578 землетрясения способны вызвать ущерб для ОКС Камчатского края, вошедших в расчет (Рисунок 170).

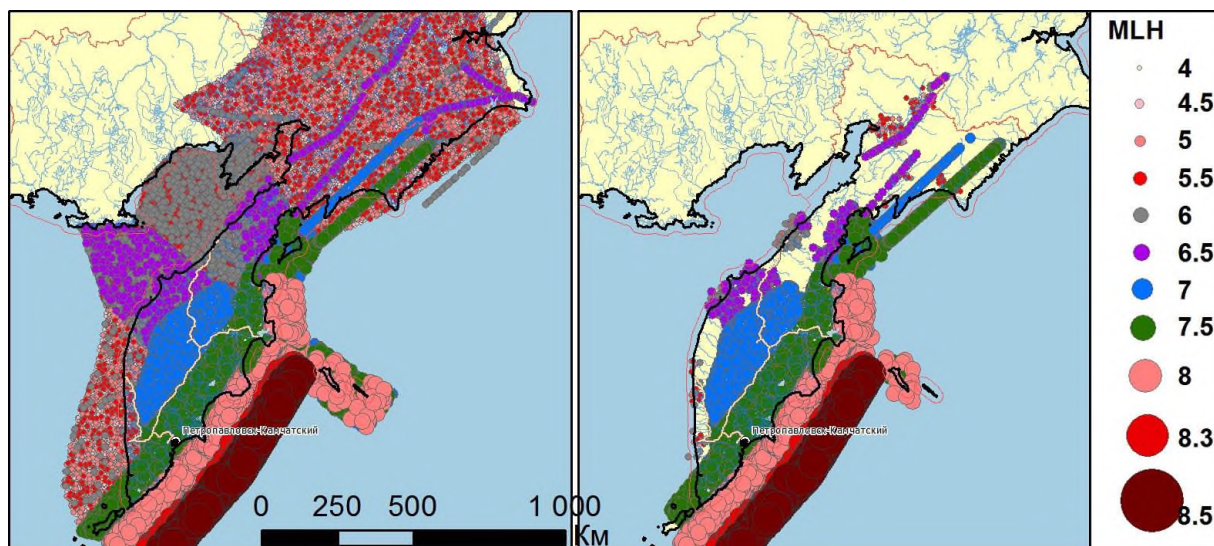


Рисунок 170 – А) Каталог землетрясений, синтезированный на основе модели зон ВОЗ ОСР-97(2015); Б) Землетрясения, способные вызвать ущерб для ОКС Камчатского края

На рисунке ниже (Рисунок 171) землетрясения синтезированного каталога дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Камчатского края.

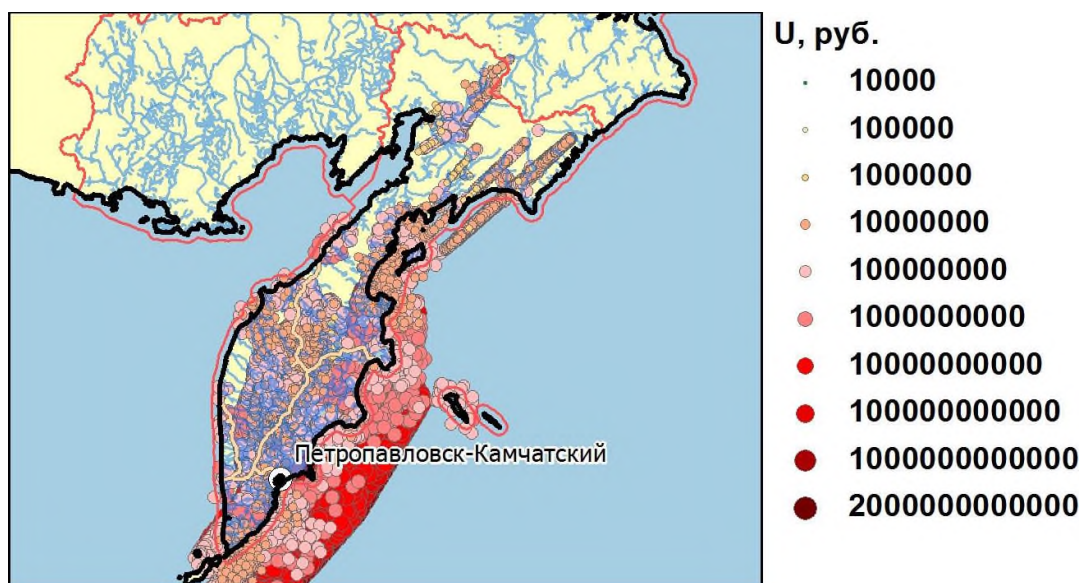


Рисунок 171 – Землетрясения дифференцированы по уровню ущерба, который они способны вызвать для ОКС Камчатского края

Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб приведен в таблице ниже (Таблица 37).

Таблица 37 – Параметры модельного землетрясения, вызвавшего максимальный ущерб

№ дом.	M <sub>ЛН</sub>	Параметры очага				Координаты гипоцентра		
		длина, км	ширина, км	азимут, °	угол падения, °	Lat, °	Lon, °	Z, км
445	7.2	66.78	21.97	236	105	53.12	158.67	3.20

Синтезированный каталог землетрясений был разделен на выборки по 500, 1000, 5000 лет. Оценки максимального вероятного ущерба, по каждой выборке приведены в таблице ниже (Таблица 38).

Таблица 38 – Оценки макс. вероятного ущерба

№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб	№ выб.	Ущерб, млн. руб
1	250782	21	187243	41	189334	61	257422	81	196500
2	187744	22	203792	42	196767	62	187268	82	206585
3	187074	23	253507	43	197902	63	185183	83	202372
4	186314	24	281427	44	187785	64	259068	84	201250
5	186634	25	255938	45	252436	65	183188	85	187007
6	227028	26	187001	46	255943	66	183188	86	215919
7	263104	27	280396	47	197540	67	183188	87	189200
8	259259	28	187416	48	257755	68	269956	88	215800
9	206884	29	187100	49	187992	69	207958	89	187856
10	188272	30	210260	50	263390	70	255619	90	255825
11	188234	31	188234	51	187744	71	242401	91	187260
12	204790	32	265096	52	219997	72	186957	92	187479
13	271304	33	209332	53	262626	73	186957	93	187128
14	199878	34	187744	54	257597	74	257288	94	246281
15	186961	35	262987	55	265851	75	275193	95	188247
16	261284	36	187743	56	196635	76	236492	96	207443
17	207324	37	263344	57	215905	77	187857	97	202899
18	235965	38	187744	58	189010	78	253978	98	210384
19	270684	39	189330	59	186189	79	187268	99	199160
20	187260	40	198626	60	206843	80	258265	100	186879

Основной ущерб во всех временных выборках обеспечен землетрясениями на линеаменте № 1018 и домне 445 (Рисунок 172).



Рисунок 172 – Линеаменты, обеспечивающие максимальный разовый ущерб ОКС Камчатского края

В таблице ниже (Таблица 39) приведены прогнозные оценки ущербов от нормированного и единичного землетрясения, с учетом периодов повторяемости воздействий.

Таблица 39 – Оценки вероятного ущерба от нормированного и единичного землетрясения

Ущерб от единичного нормированного землетрясения по карте ОСР-А, руб.	<b>90 429 265 171</b>
Ущерб от максимального единичного землетрясения, руб.	<b>73 533 092 431</b>

Таким образом, выполнена апробация разработанного модуля по оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе данных по Камчатскому краю.

Максимальный ущерб ОКС Камчатского края от разового землетрясения составил **73 533 092 431 руб.**

Оценки ущерба от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет составило:

ОСР-2015-А (500 лет) – **90 429 265 171** руб.

Результаты расчета ущерба приведены в Приложении Л.

Ниже приведены результаты анализа и обработки полученных данных в соответствии с разработанной методикой и критериями.

На рисунках (Рисунок 173 – Рисунок 201) приведены результаты анализа полученных данных расчета по ОКС Камчатского края от разового максимального землетрясения.

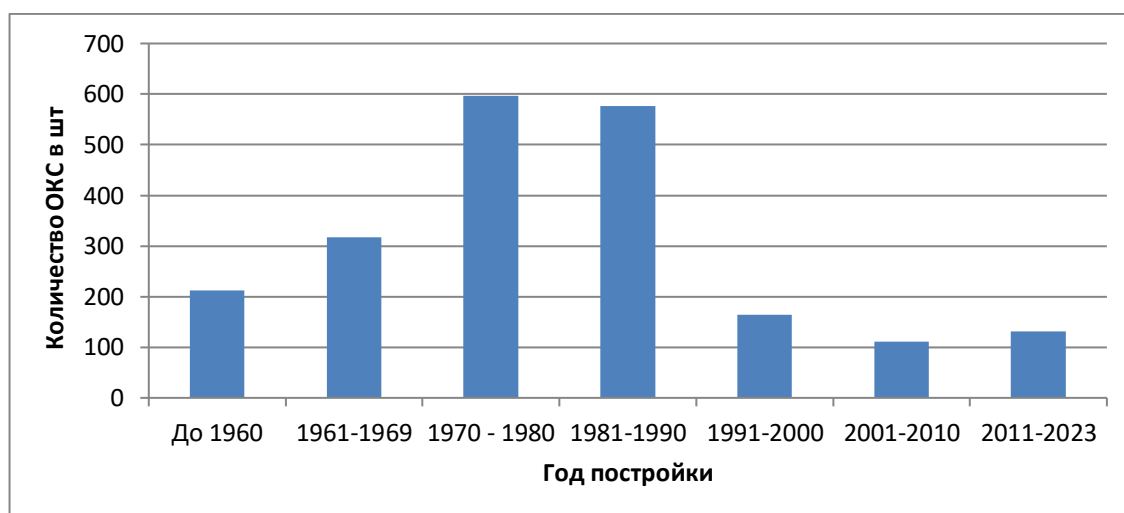


Рисунок 173 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки



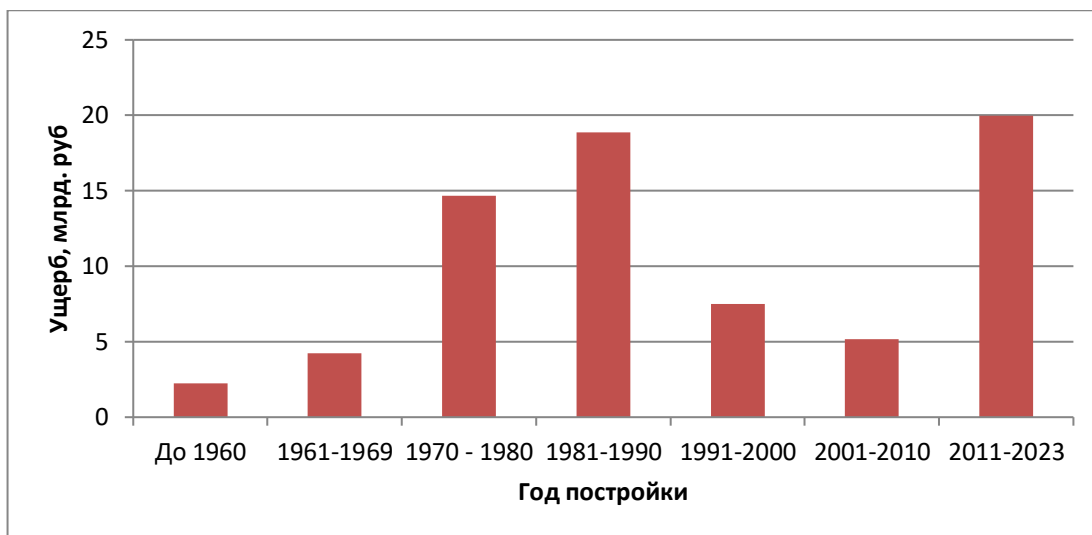


Рисунок 174 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

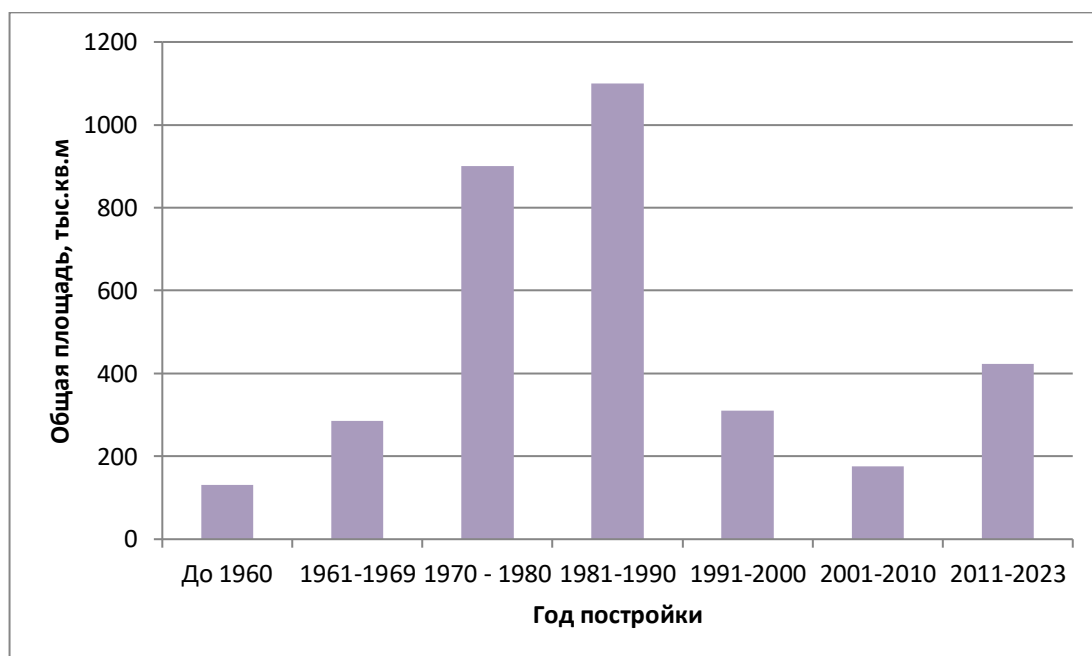


Рисунок 175 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки

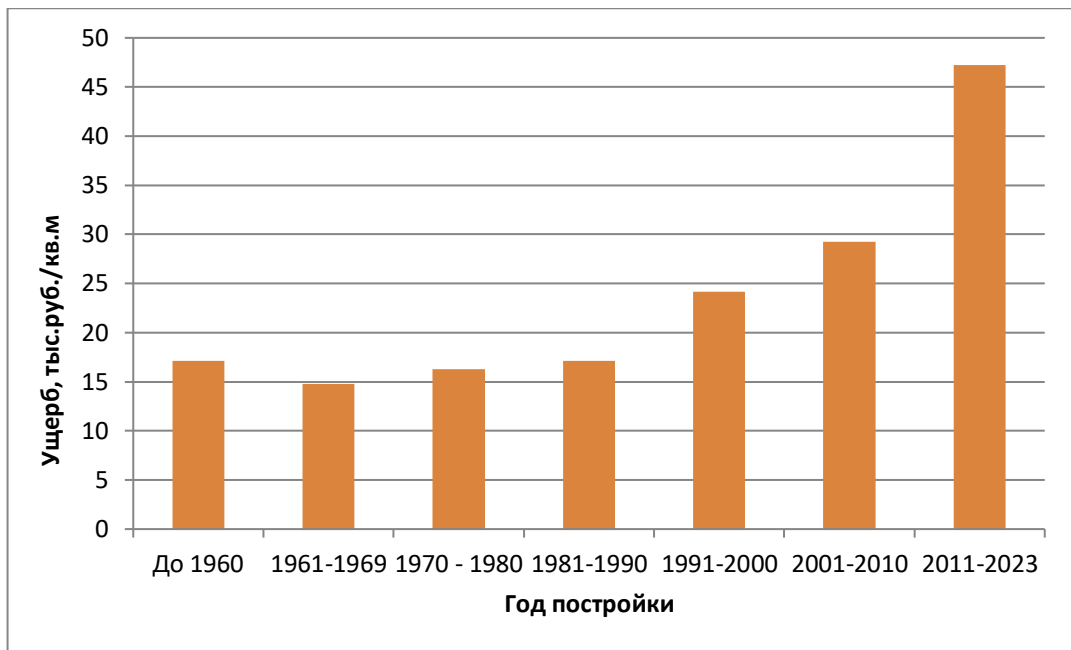


Рисунок 176 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки

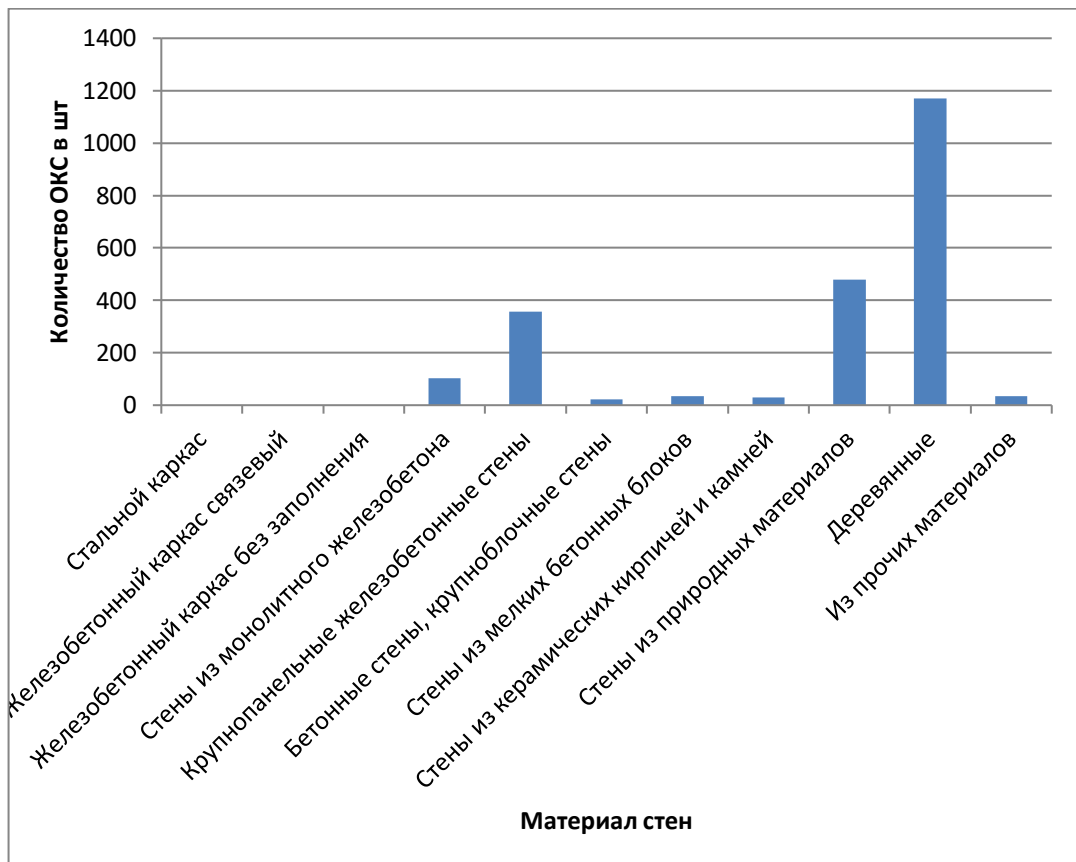


Рисунок 177 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

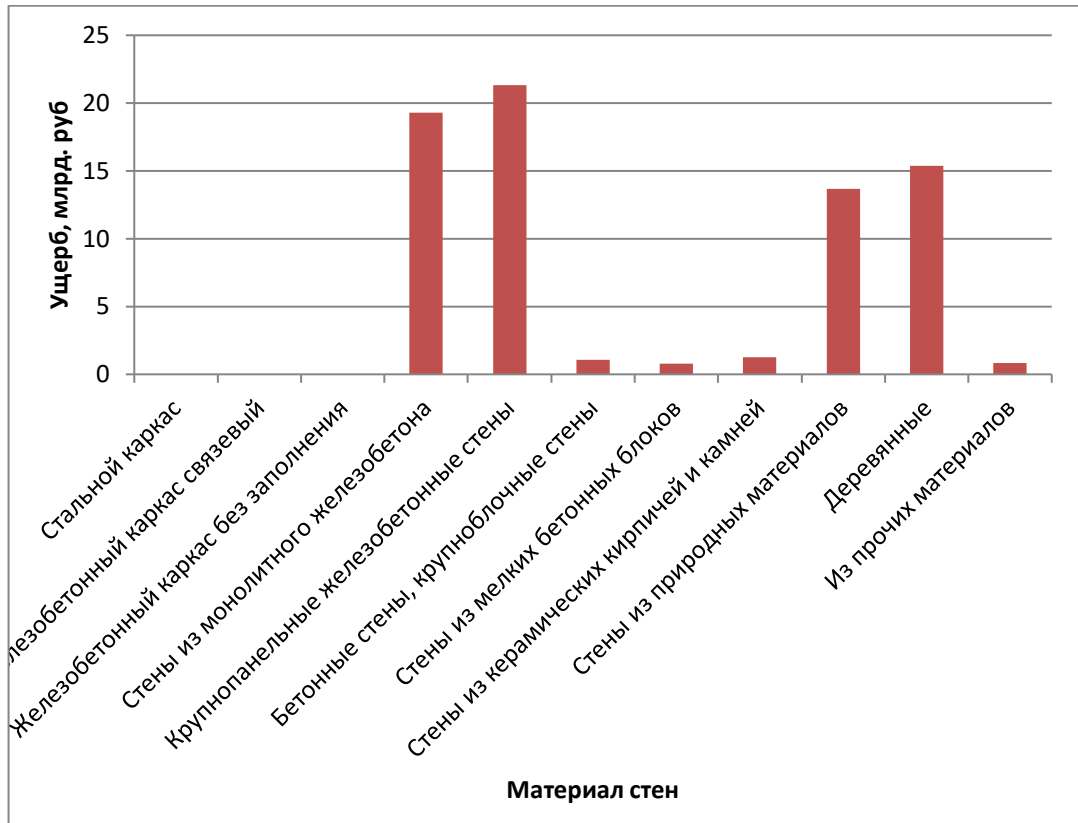


Рисунок 178 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

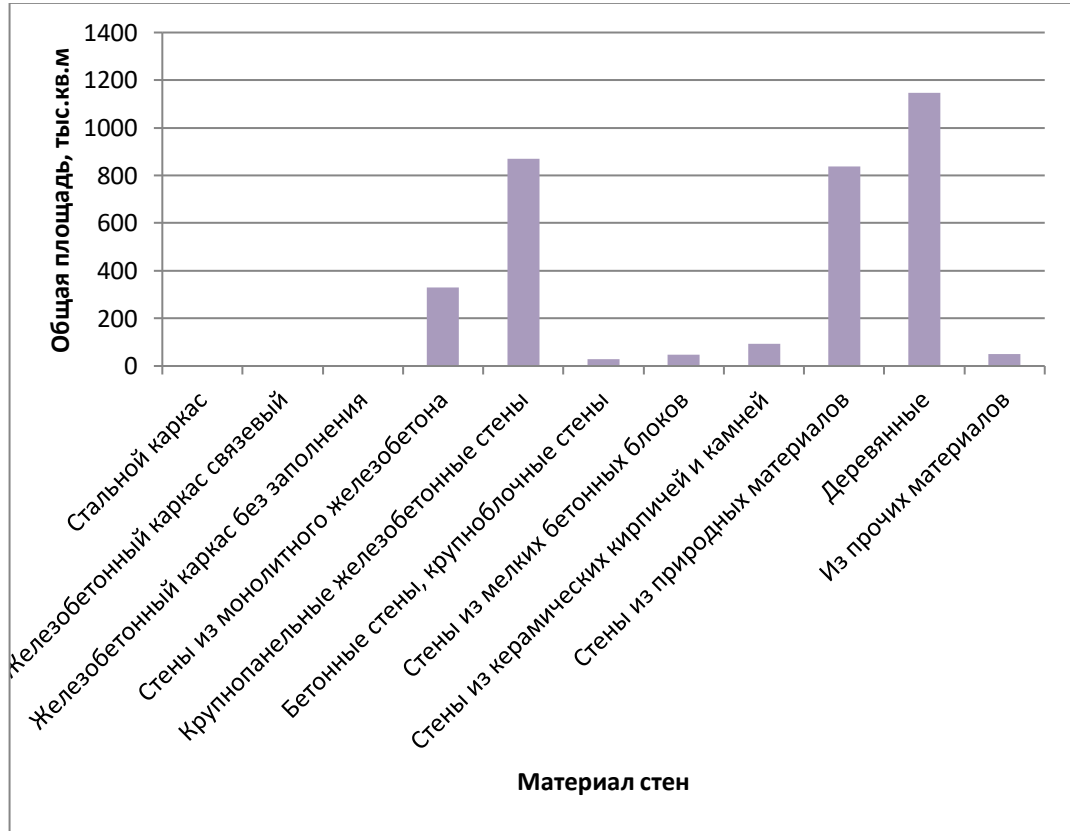


Рисунок 179 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

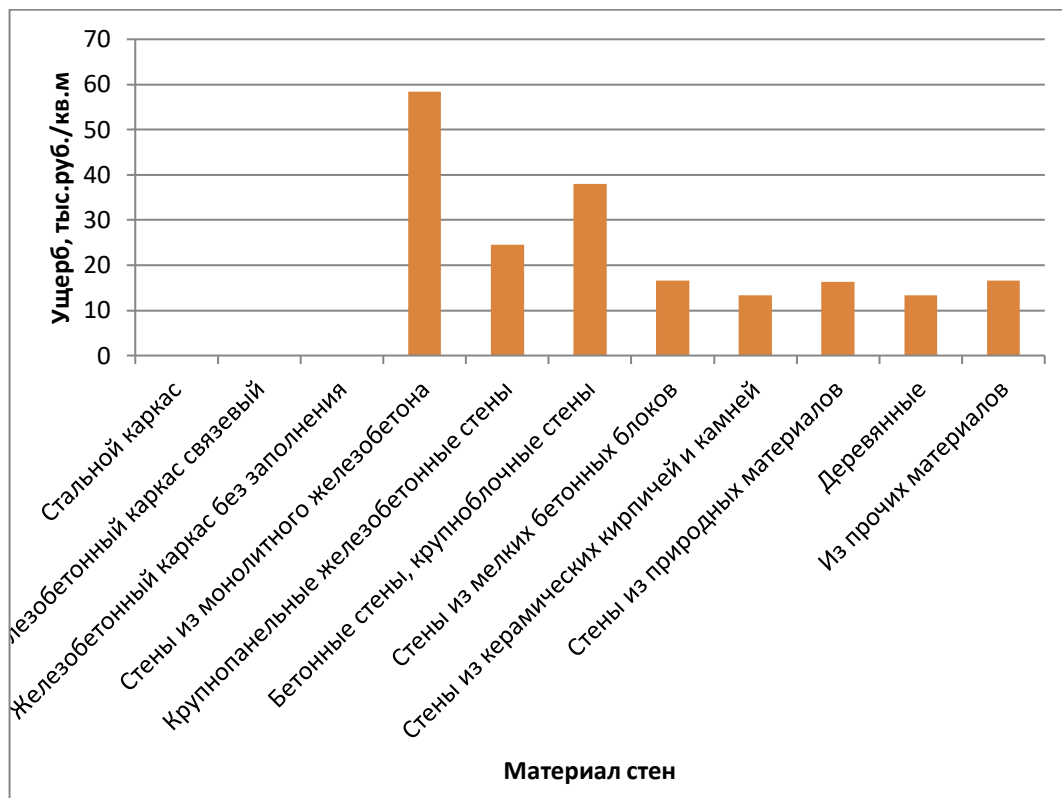


Рисунок 180 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

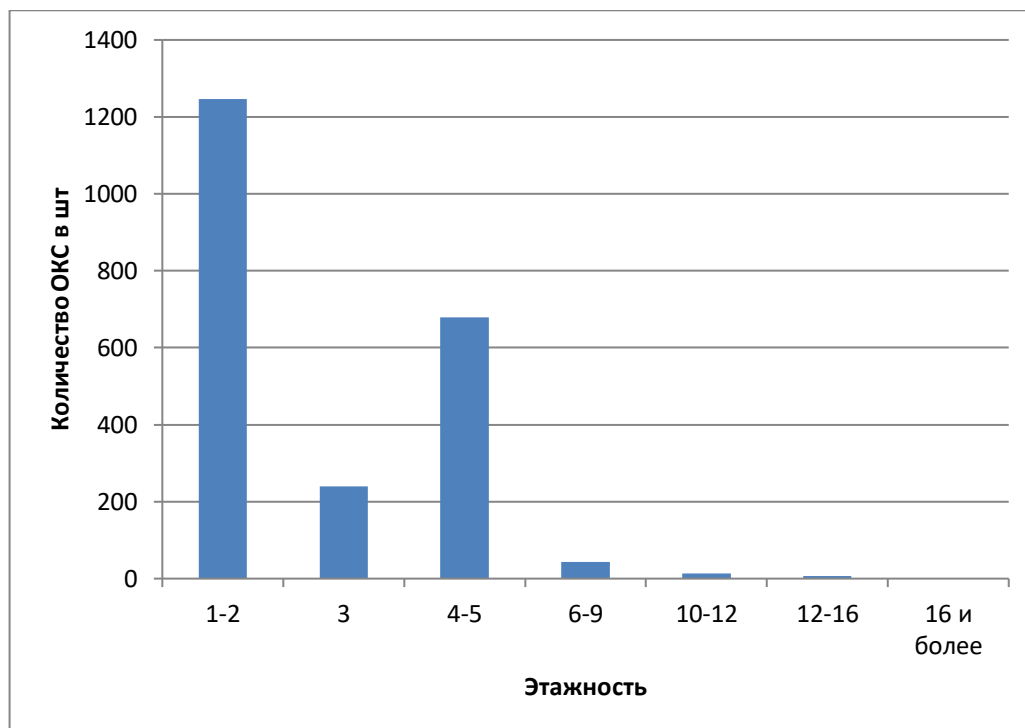


Рисунок 181 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

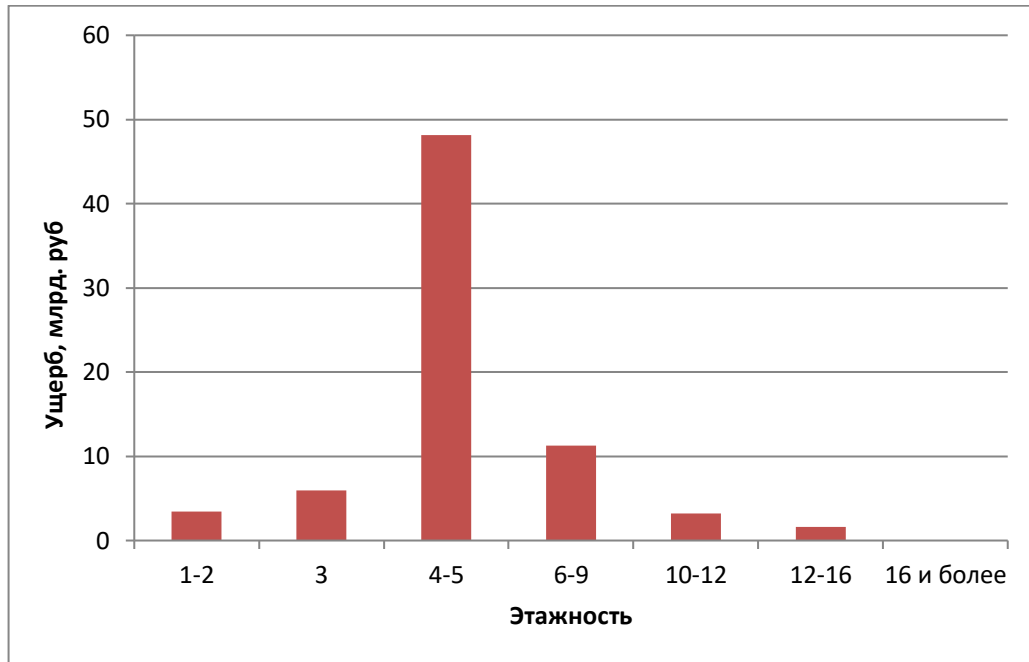


Рисунок 182 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

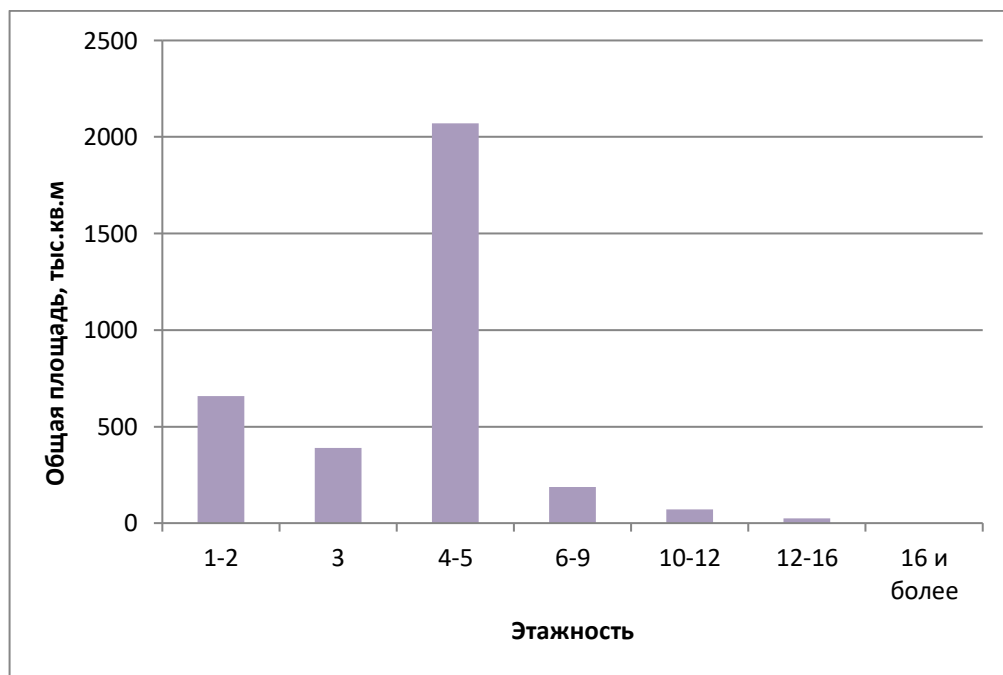


Рисунок 183 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

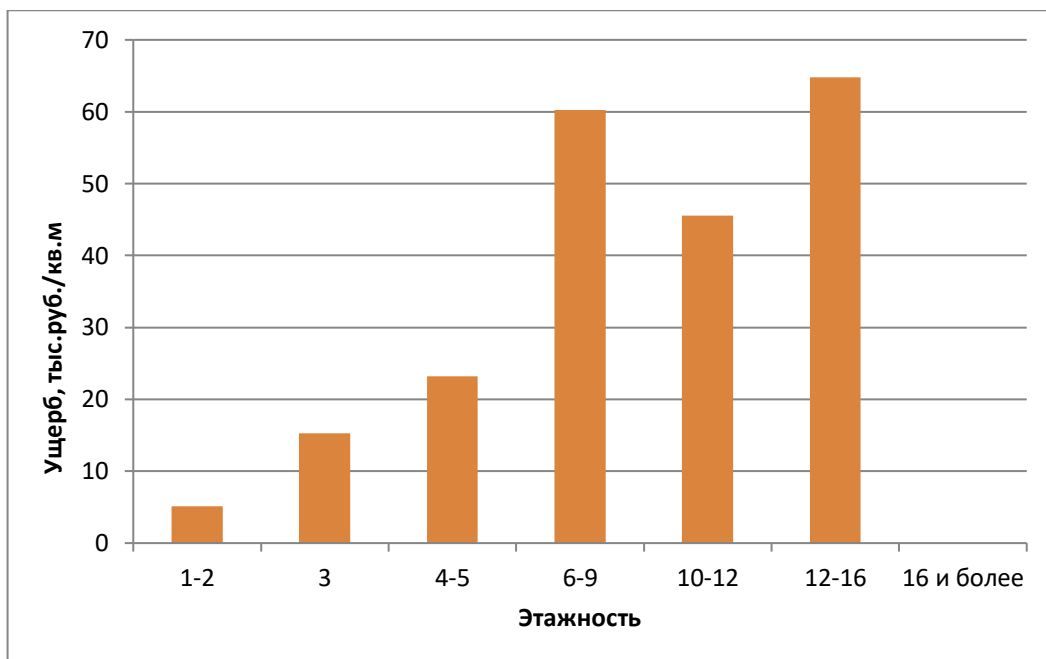


Рисунок 184 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

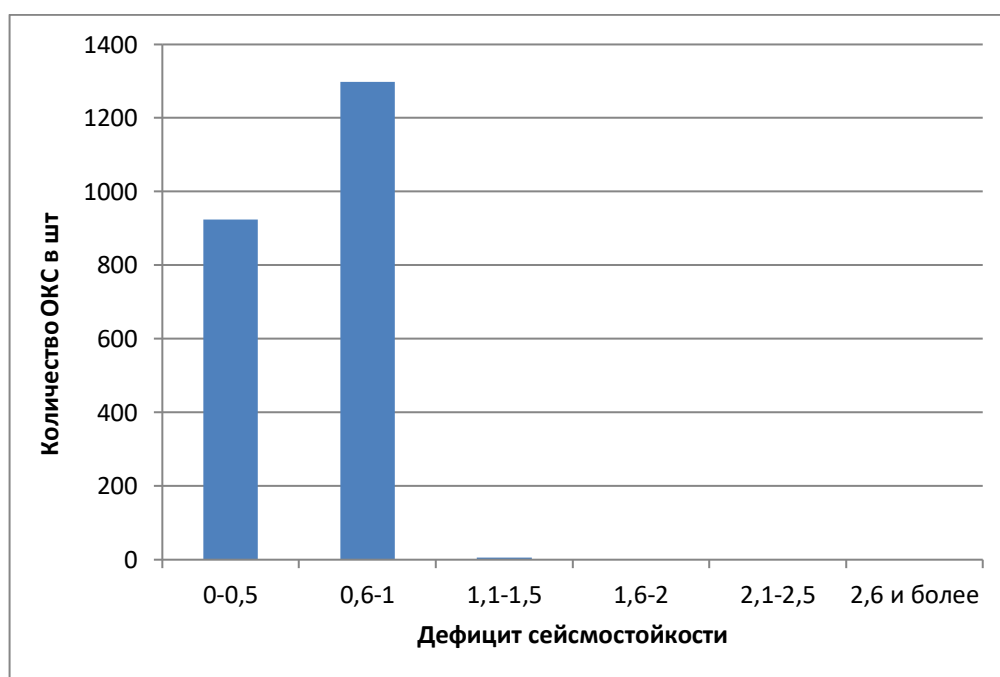


Рисунок 185 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

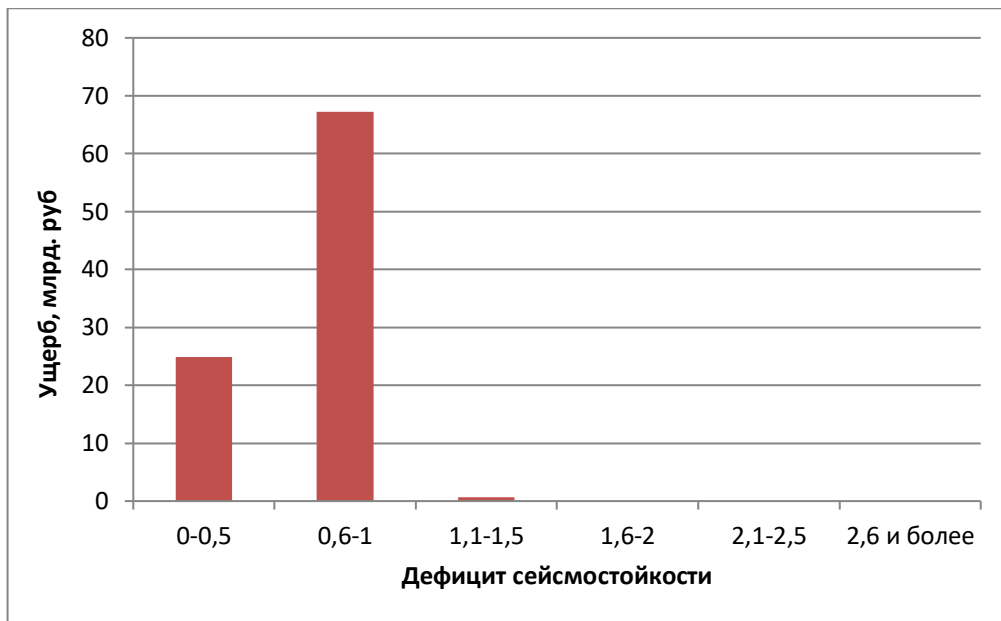


Рисунок 186 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

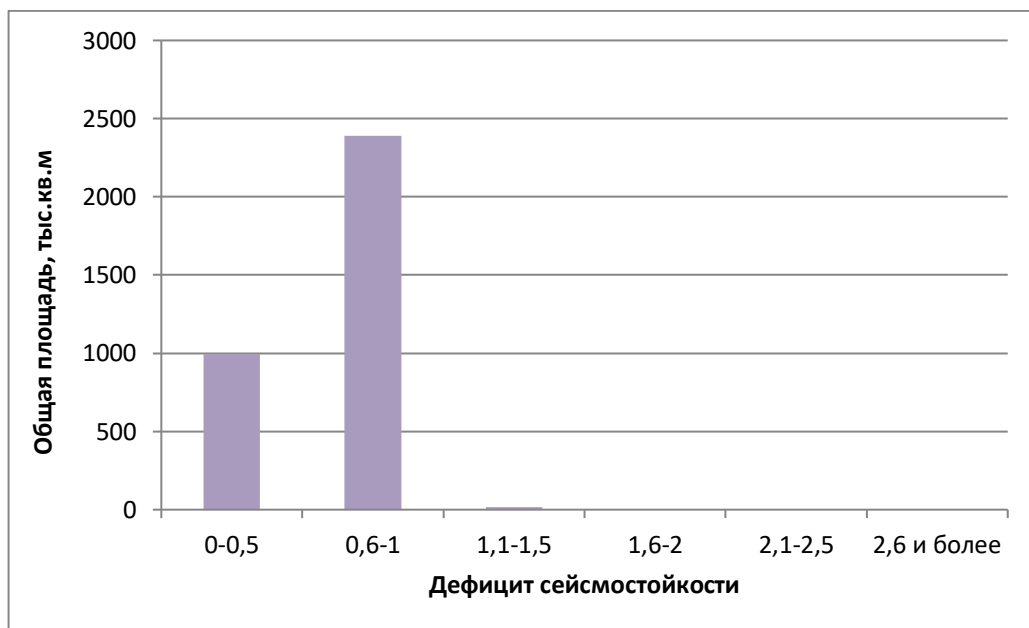


Рисунок 187 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

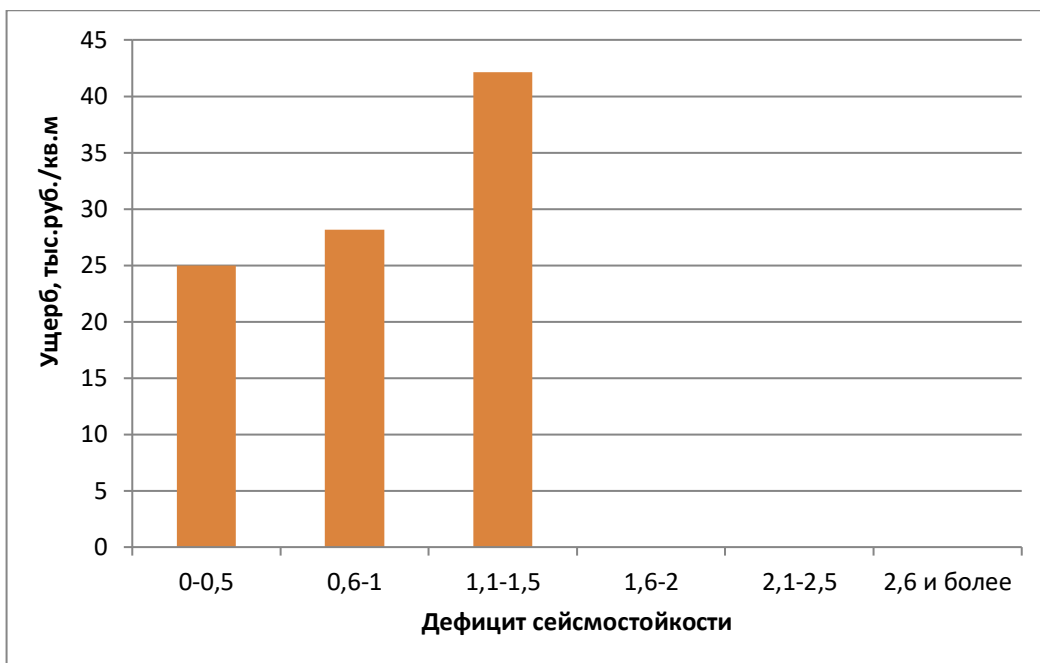


Рисунок 188 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

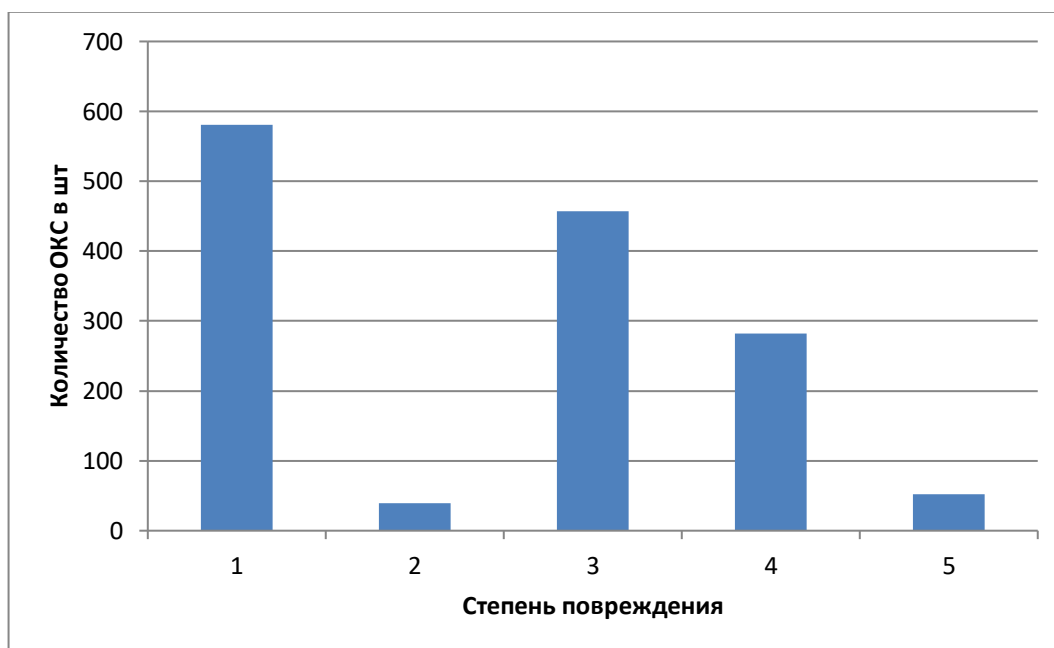


Рисунок 189 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения





Рисунок 190 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения

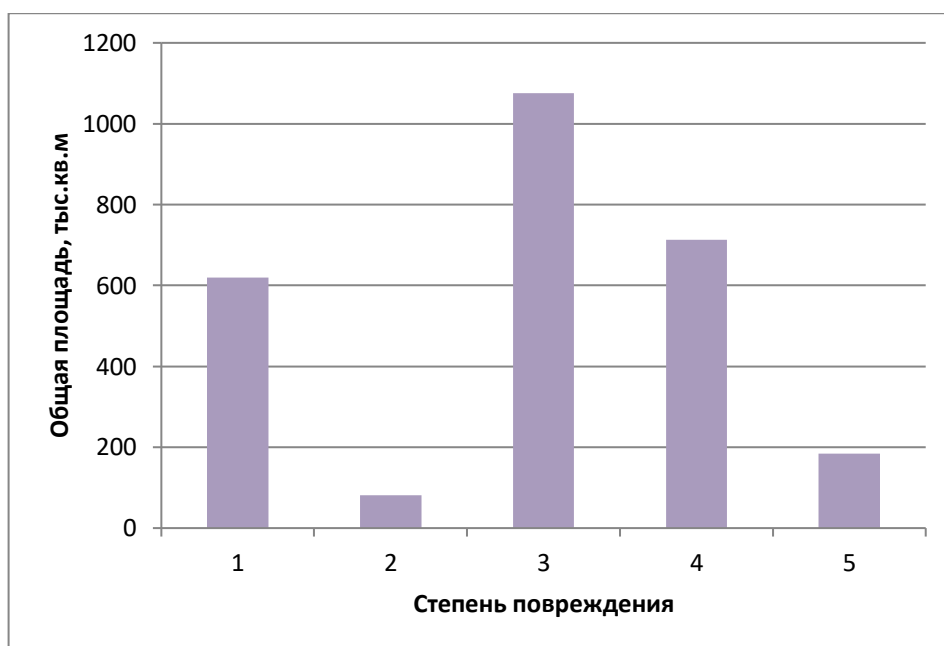


Рисунок 191 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

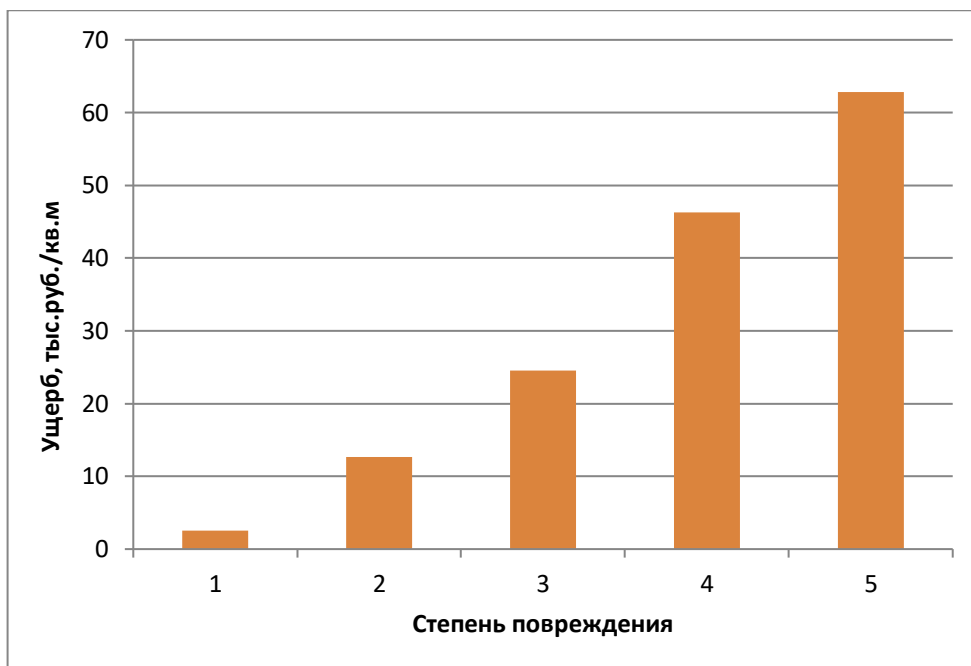


Рисунок 192 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения

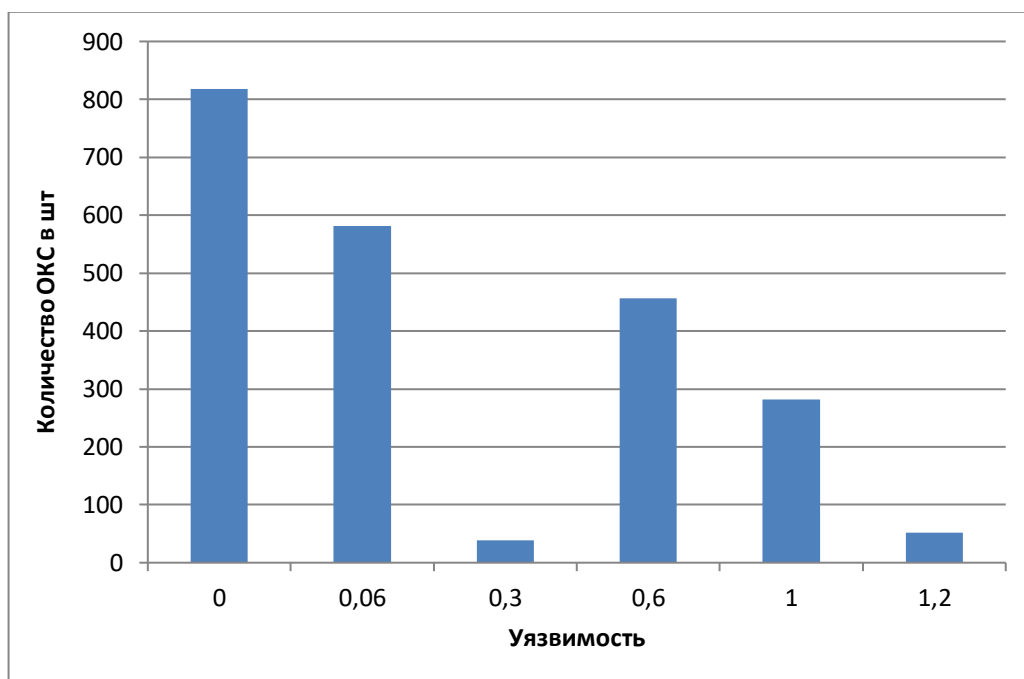


Рисунок 193 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

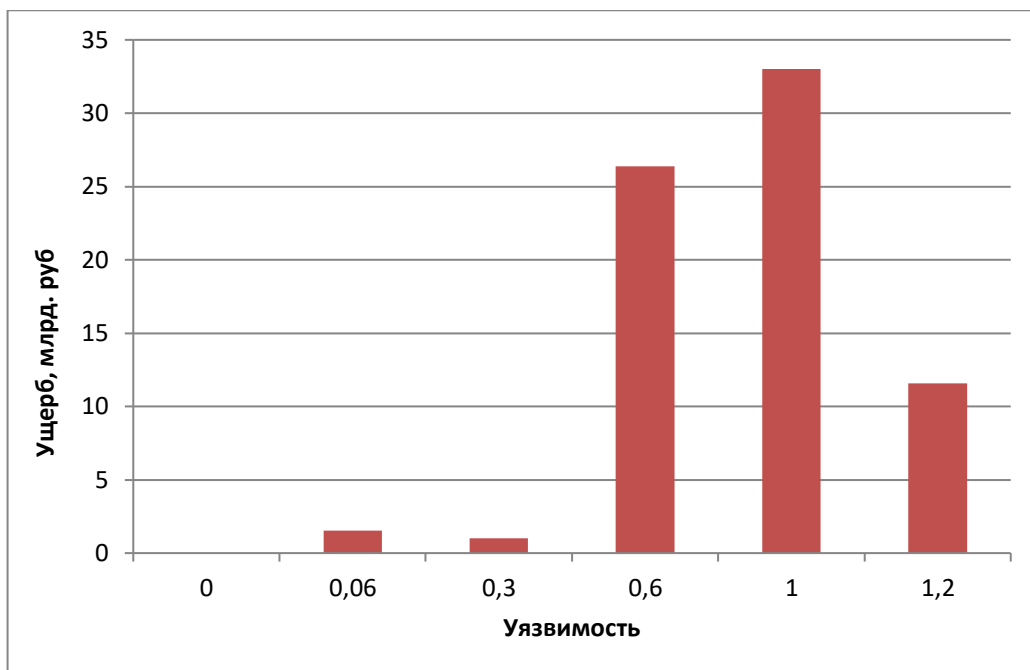


Рисунок 194 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

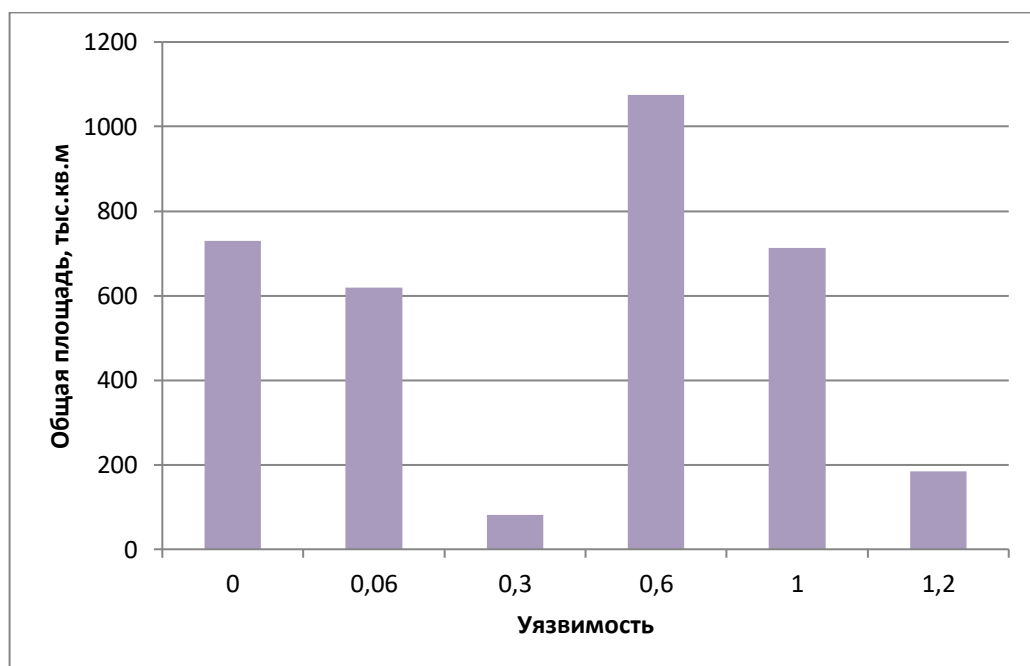


Рисунок 195 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

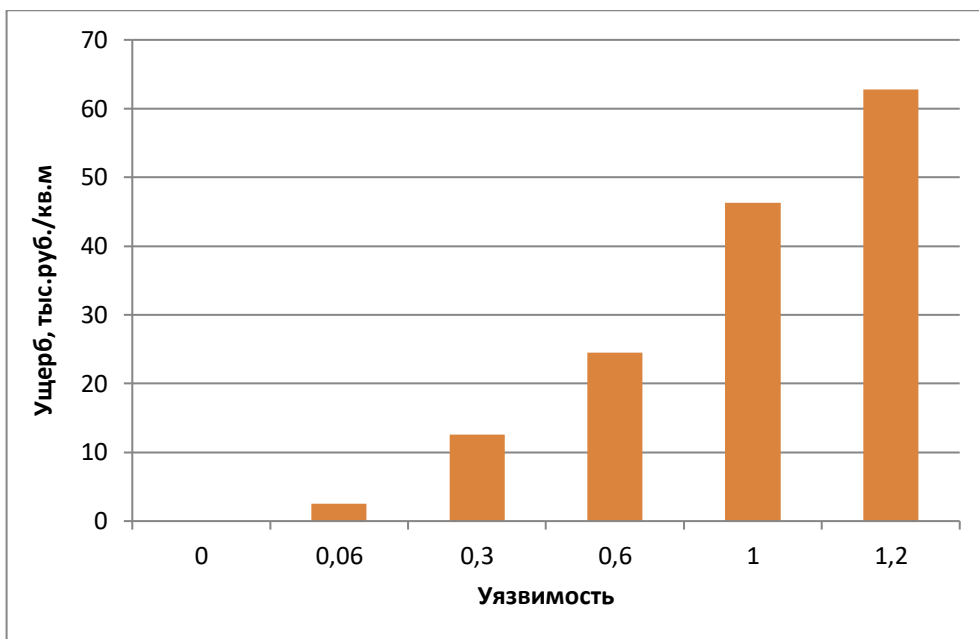


Рисунок 196 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью

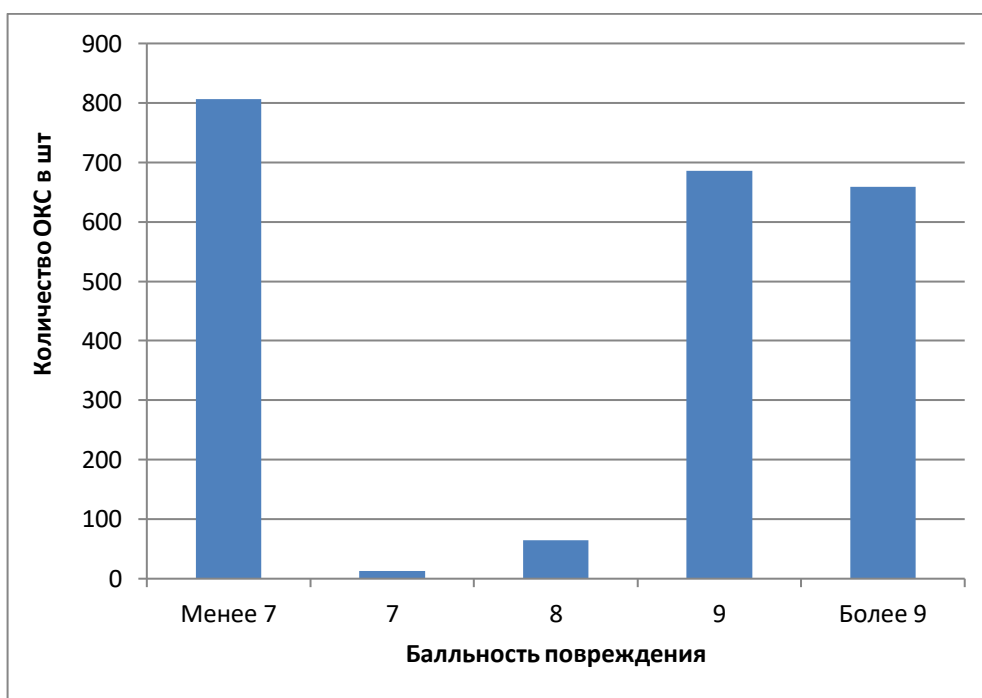


Рисунок 197 – Количество единиц ОКС в соответствии с балльностью повреждения

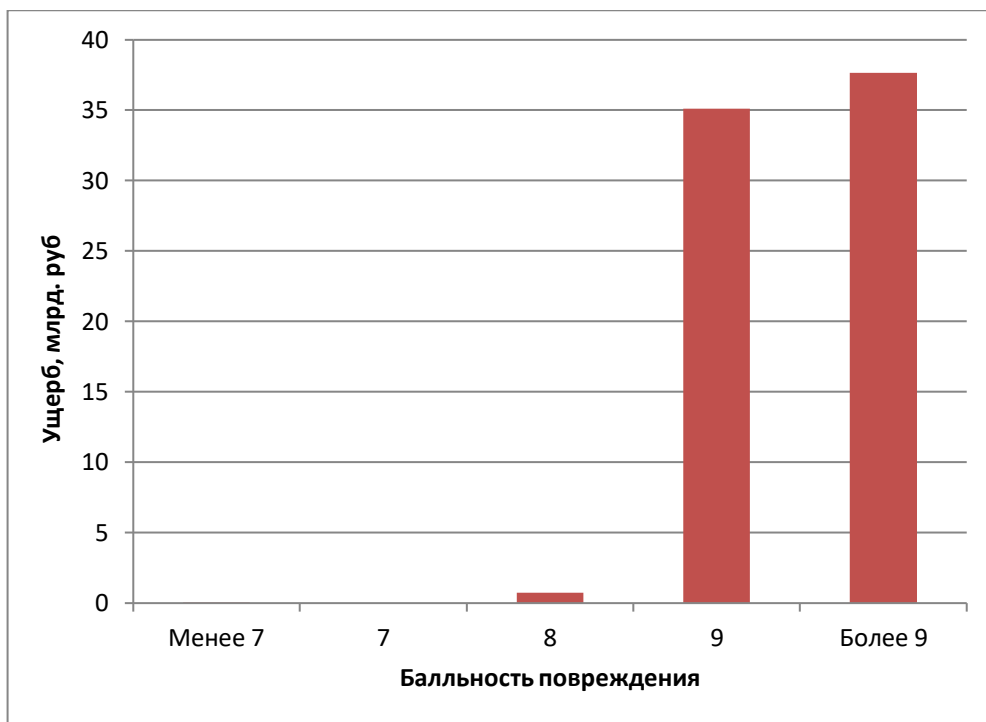


Рисунок 198 – Величина ущерба в соответствии с балльностью повреждения



Рисунок 199 – Количество жилой площади в соответствии с балльностью повреждения

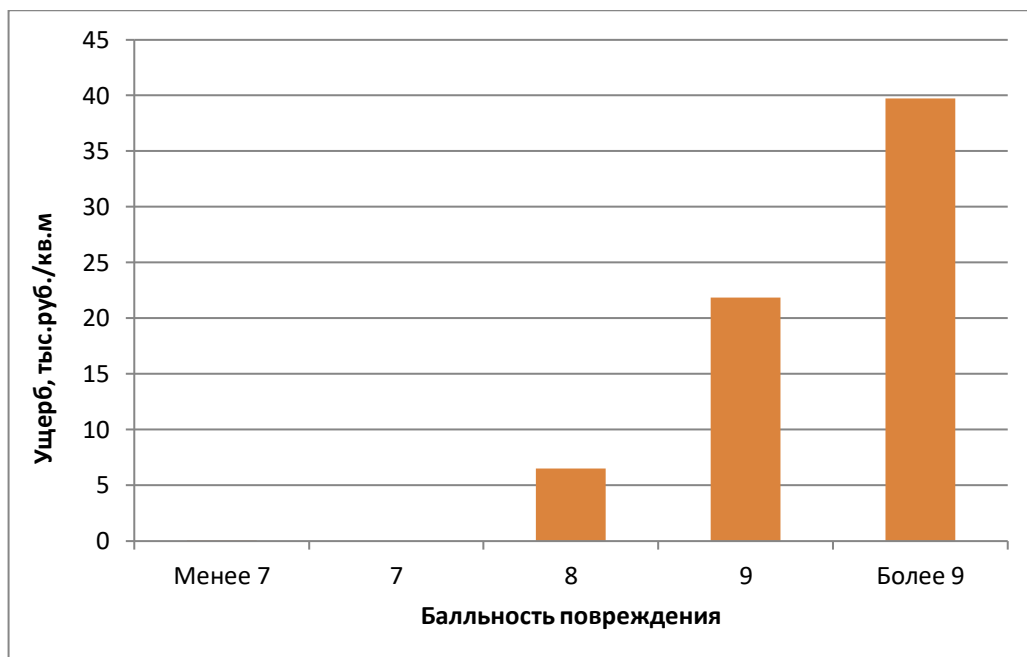


Рисунок 200 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с балльностью повреждения

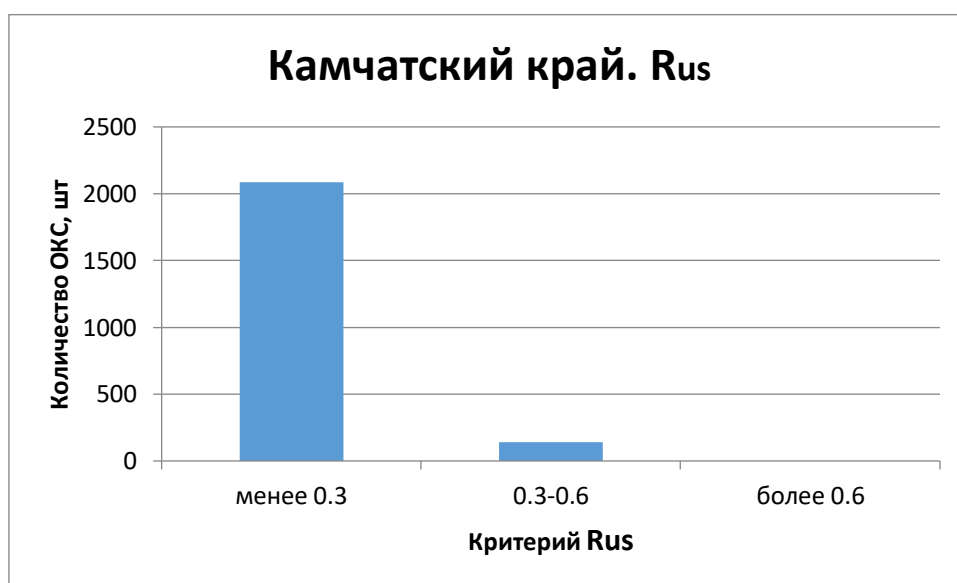


Рисунок 201 – Классификация ОКС по критерию  $R_{us}$

На рисунках (Рисунок 202 – Рисунок 225) приведены результаты анализа полученных данных расчета ОКС Камчатского края от единичного землетрясения с учетом нормативного периода повторяемости воздействий 500 лет ОСР-2015-А.

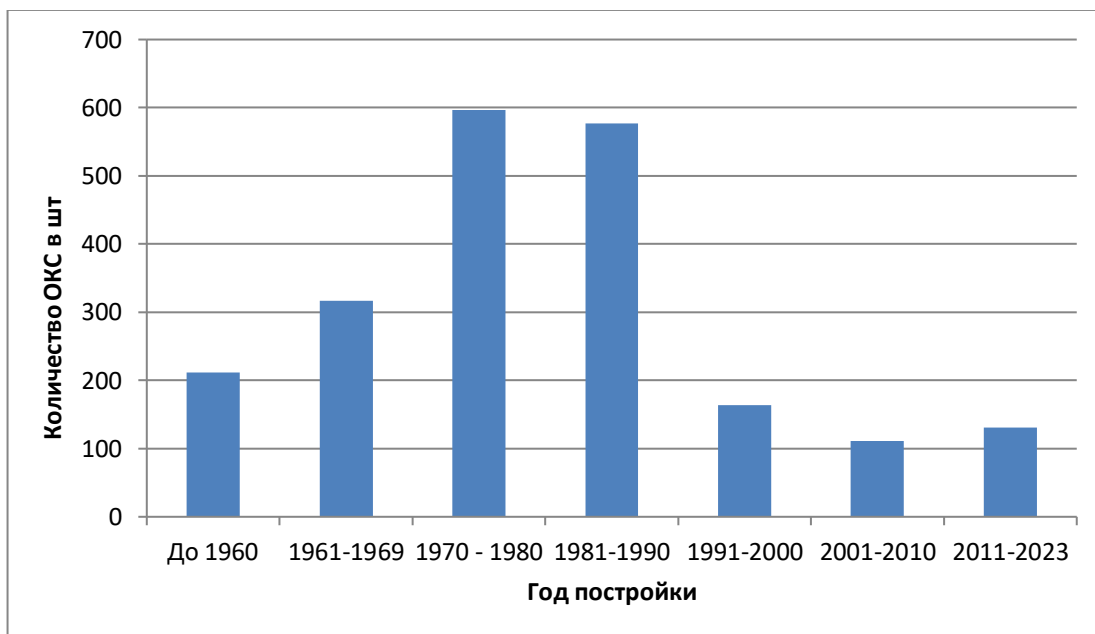


Рисунок 202 – Количество единиц ОКС в соответствии с годом постройки

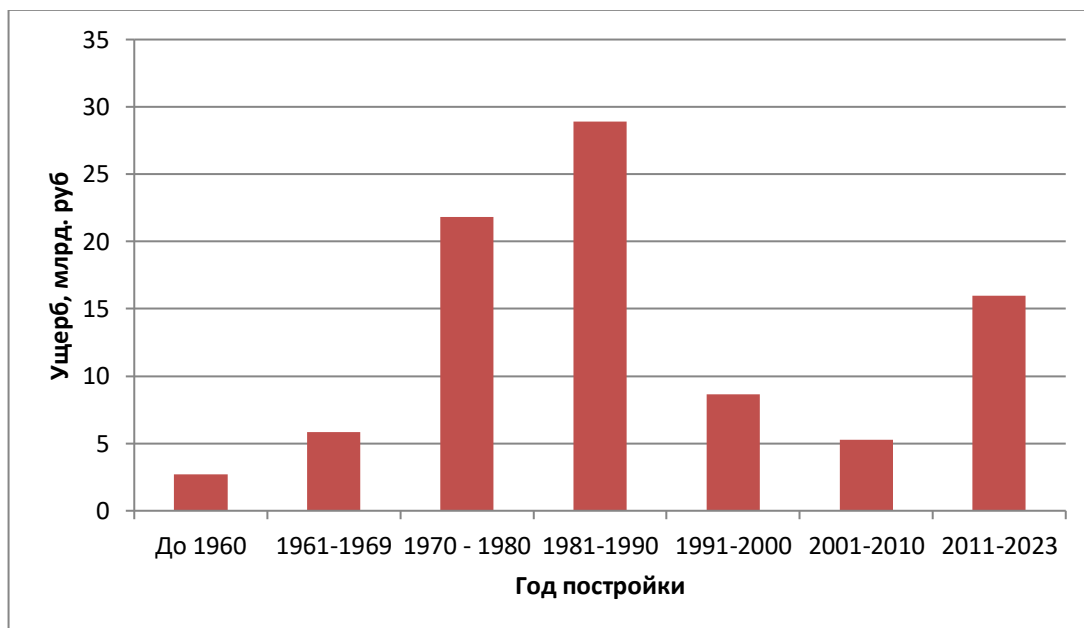


Рисунок 203 – Величина ущерба в соответствии с годом постройки

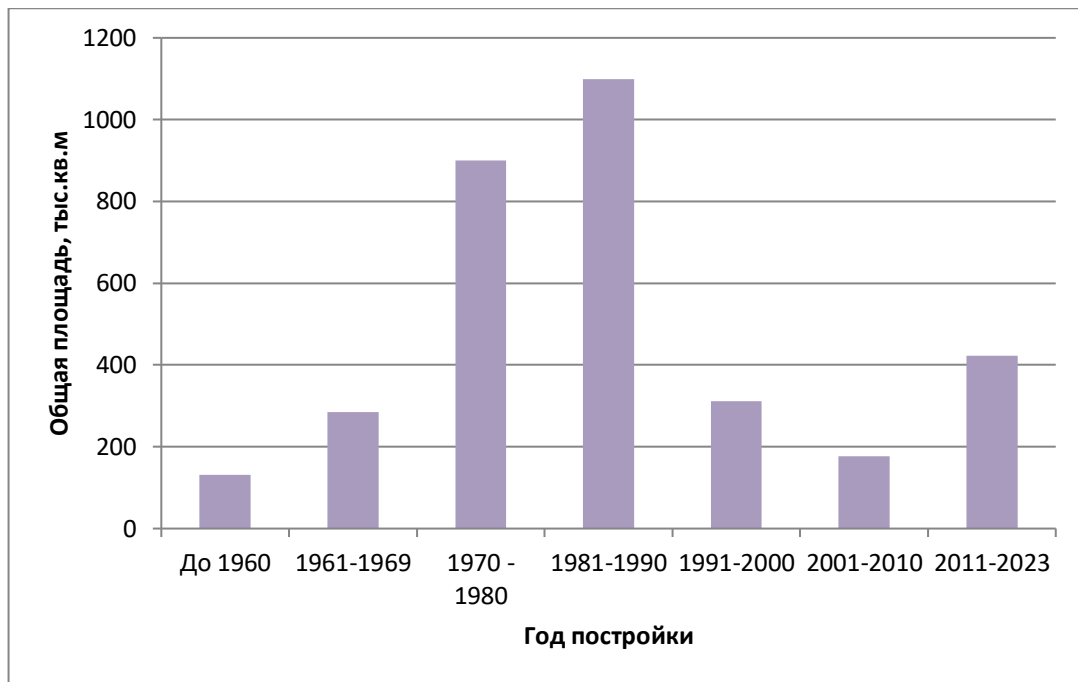


Рисунок 204 – Количество жилой площади в соответствии с годом постройки

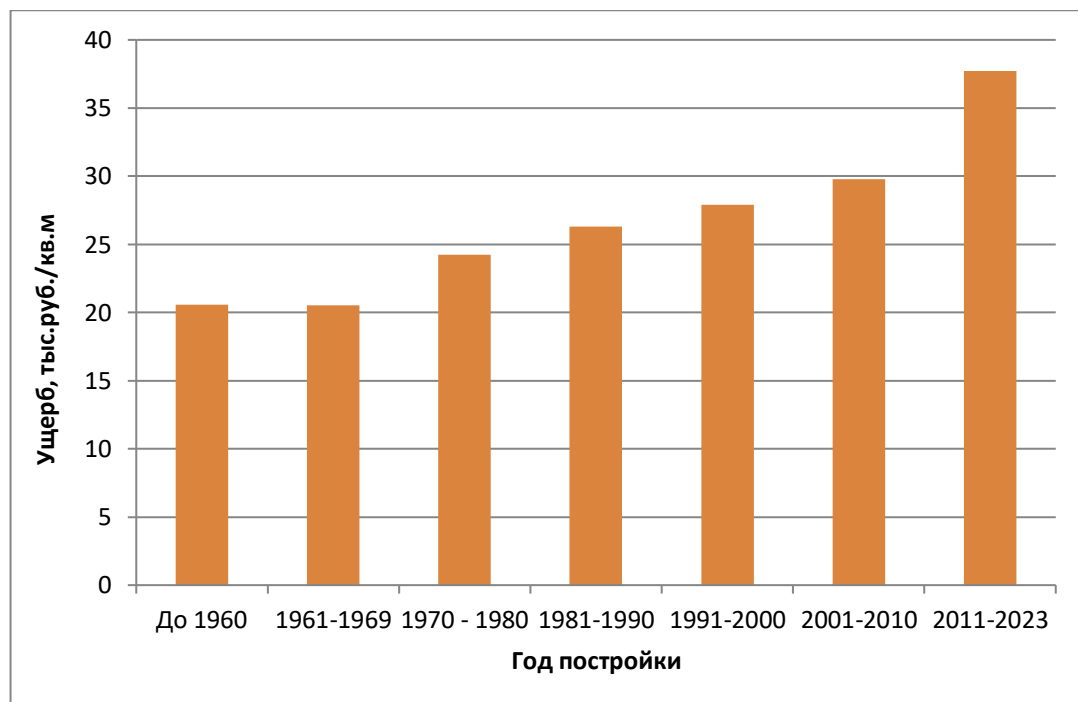


Рисунок 205 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с годом постройки



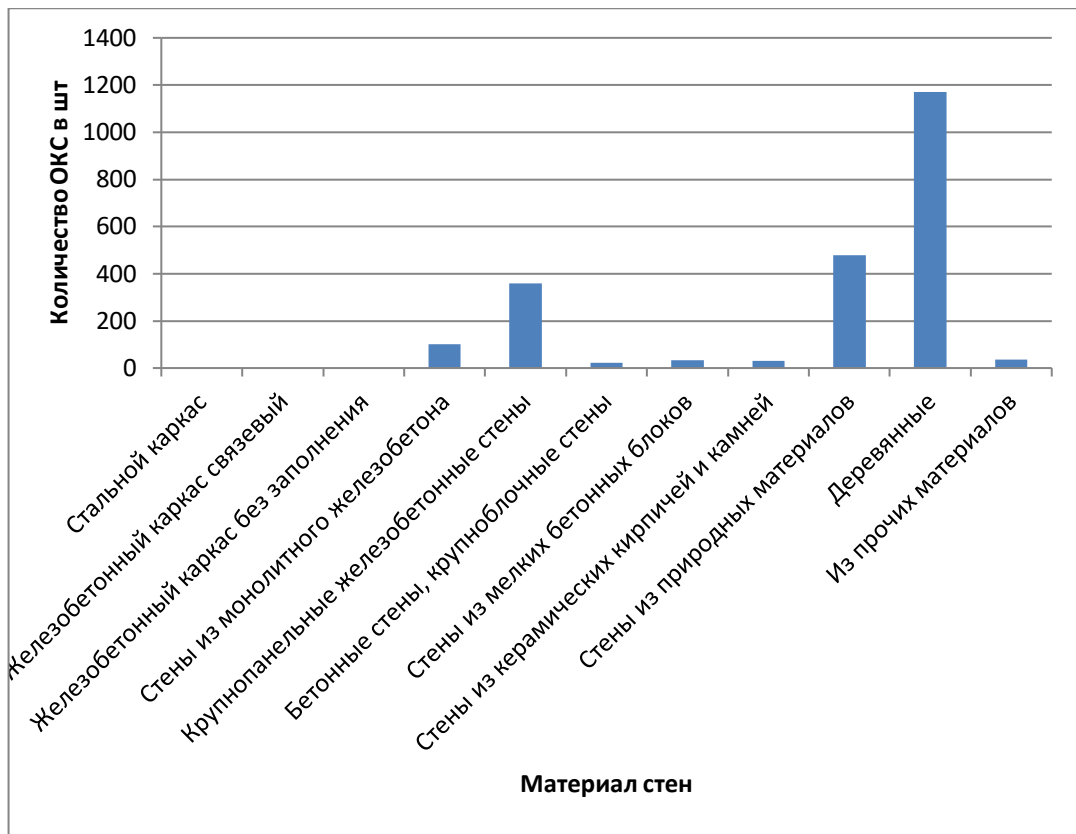


Рисунок 206 – Количество единиц ОКС в соответствии с материалом стен

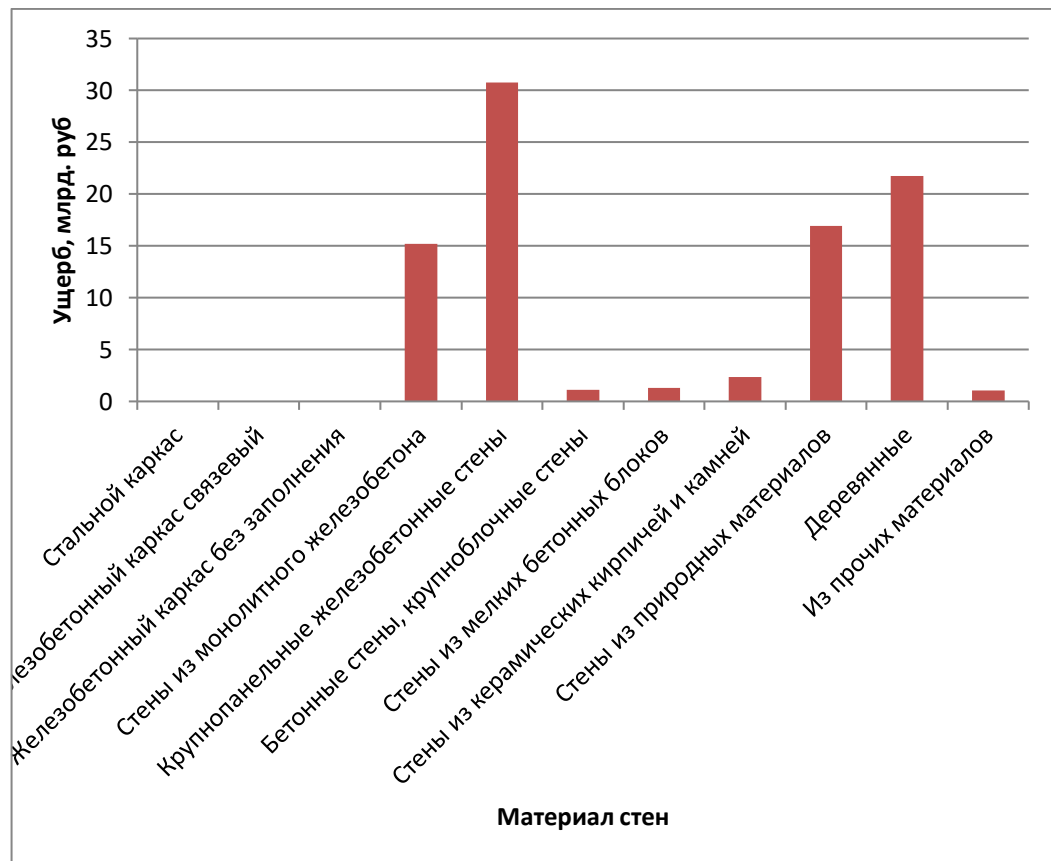


Рисунок 207 – Величина ущерба в соответствии с материалом стен

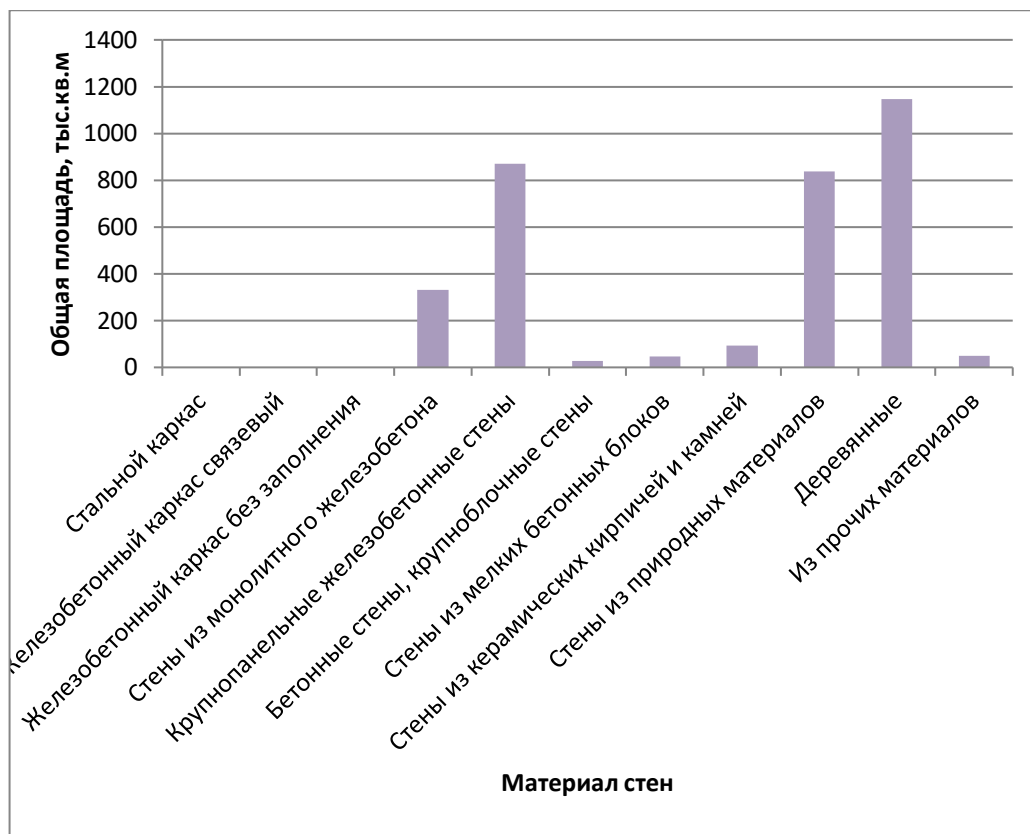


Рисунок 208 – Количество жилой площади в соответствии с материалом стен

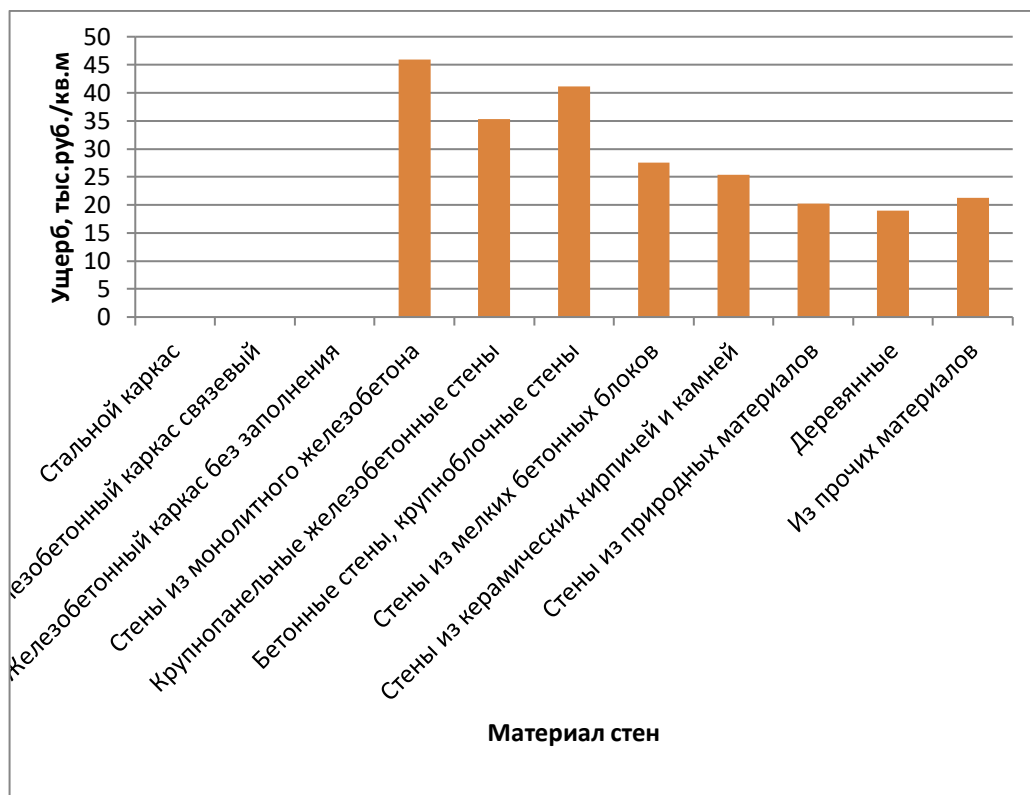


Рисунок 209 – Величина приведенного ущерба жилой площади в соответствии с материалом стен

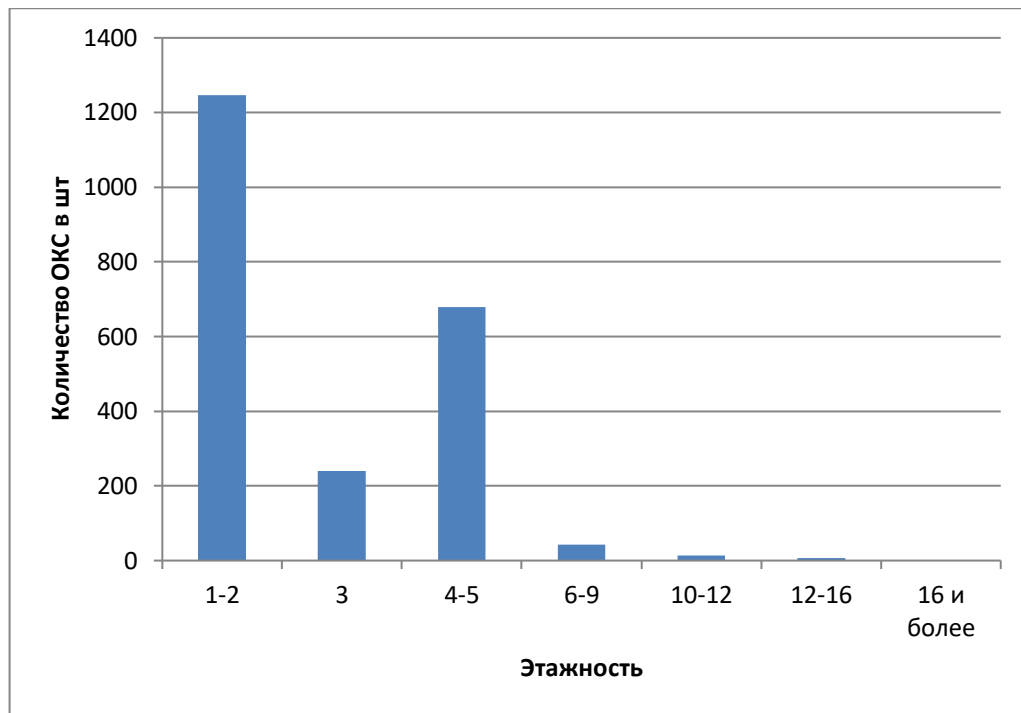


Рисунок 210 – Количество единиц ОКС в соответствии с этажностью

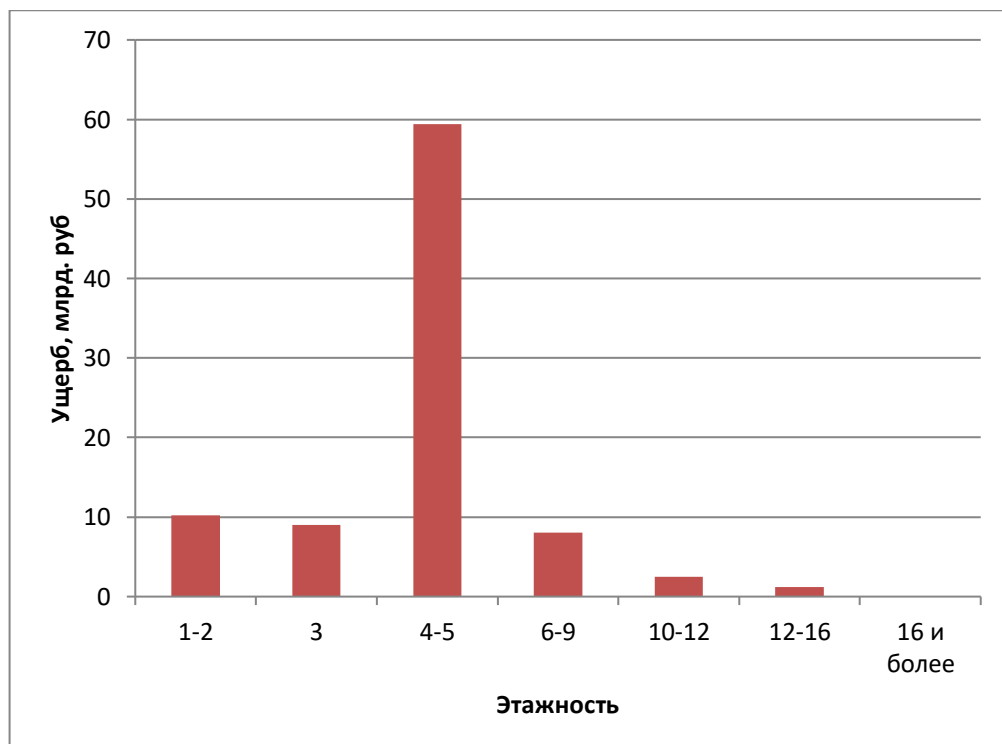


Рисунок 211 – Величина ущерба в соответствии с этажностью

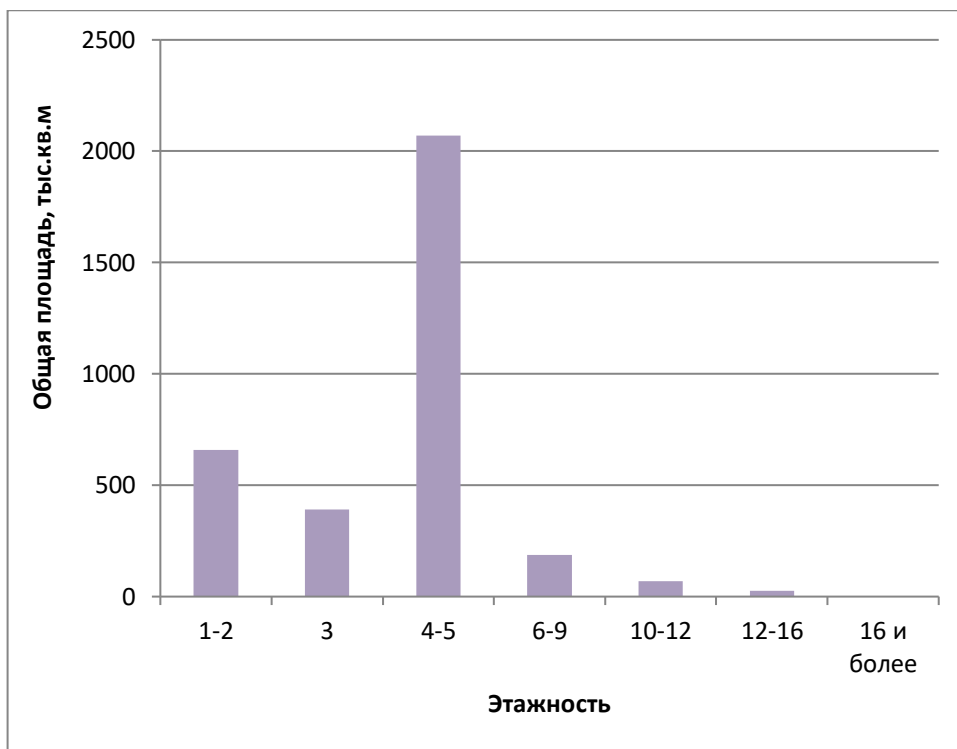


Рисунок 212 – Количество жилой площади в соответствии с этажностью

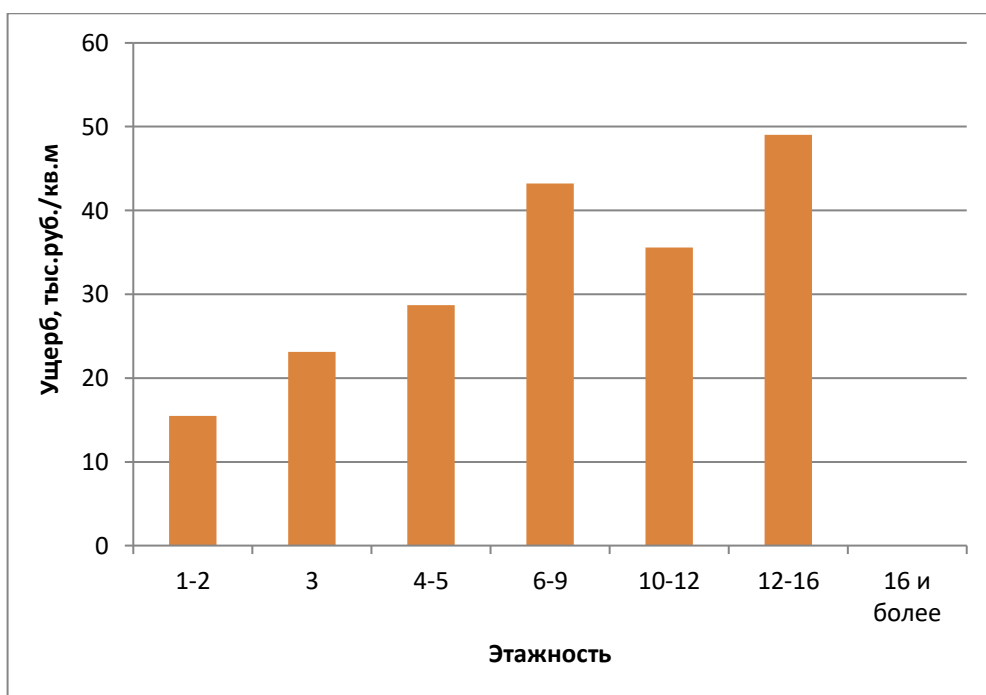


Рисунок 213 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с этажностью

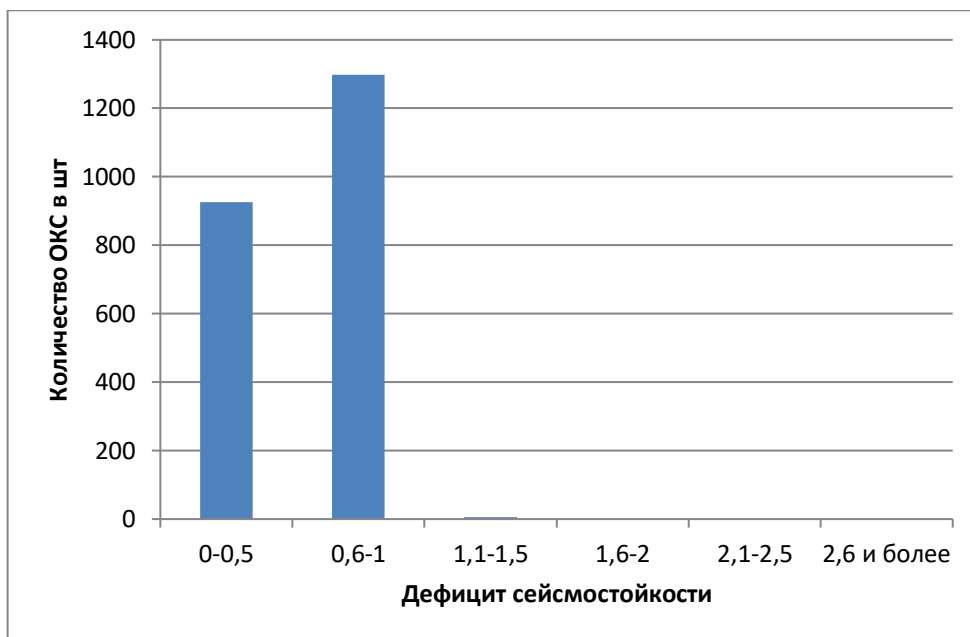


Рисунок 214 – Количество единиц ОКС в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

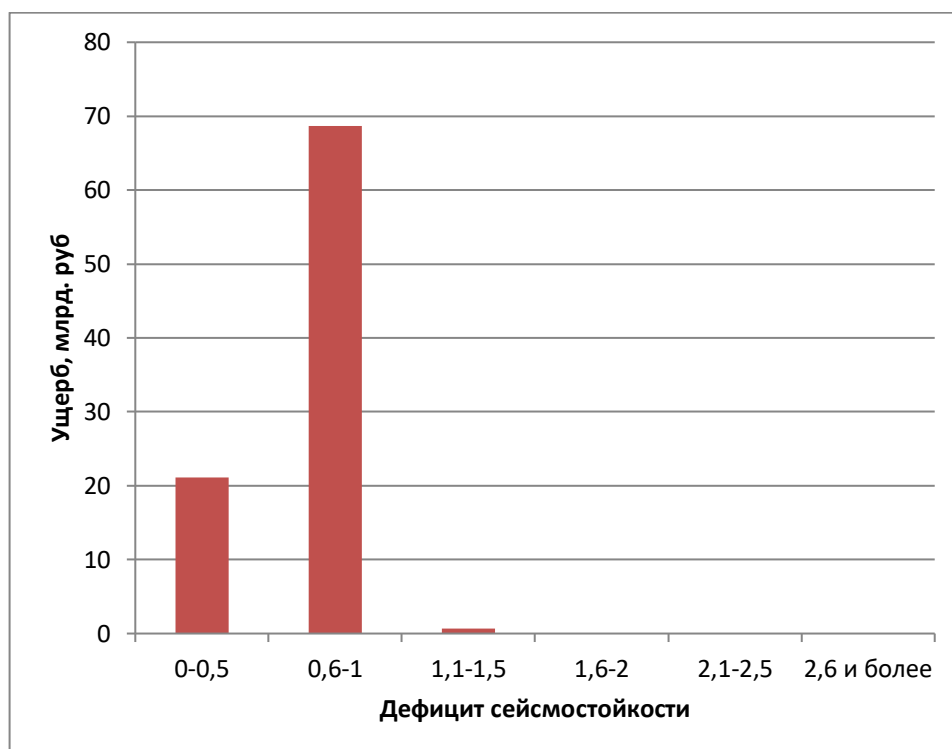


Рисунок 215 – Величина ущерба в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

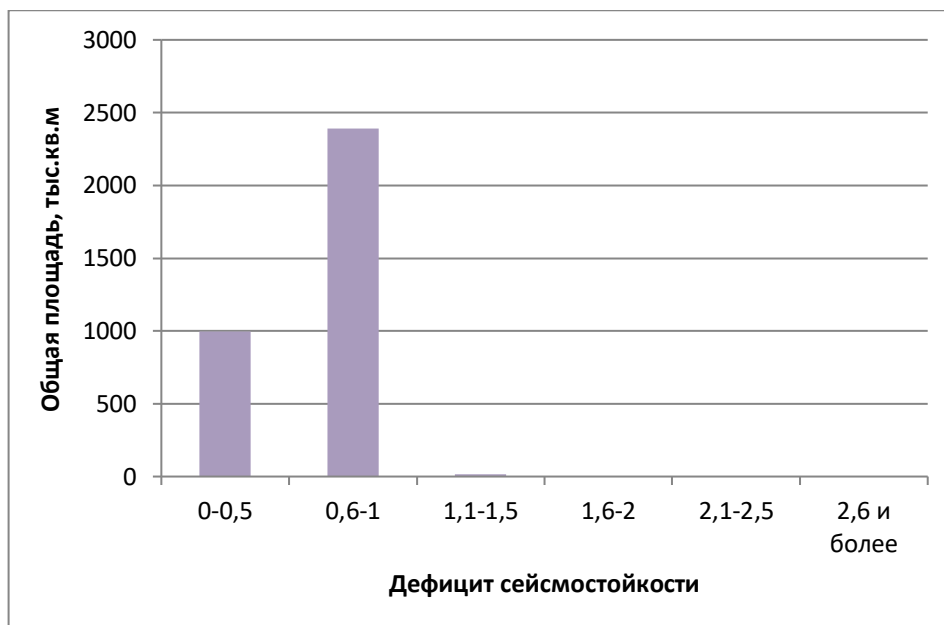


Рисунок 216 – Количество жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

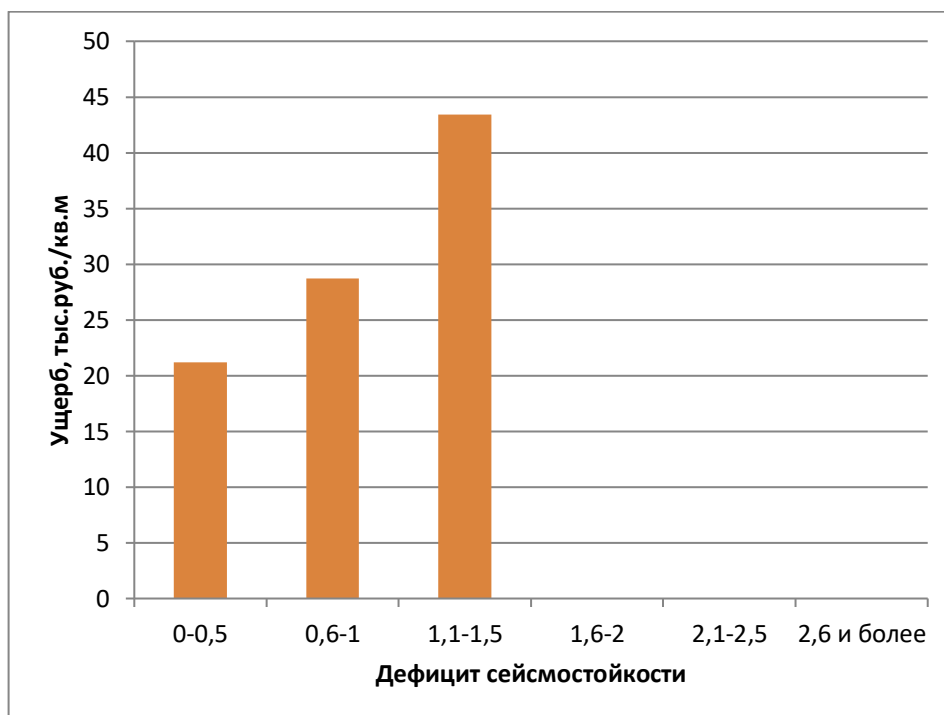


Рисунок 217 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с фактическим дефицитом сейсмостойкости

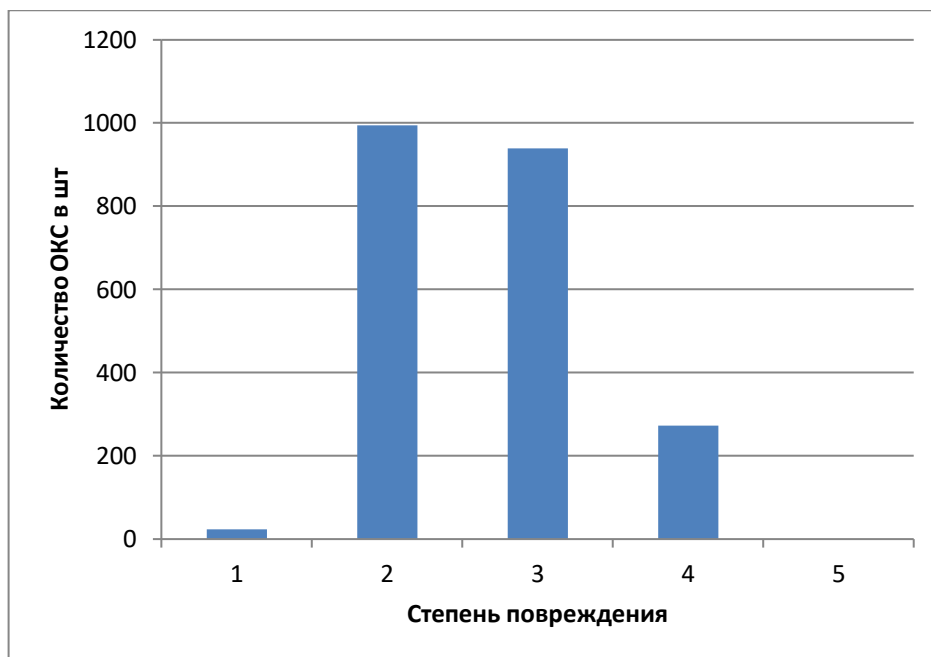


Рисунок 218 – Количество единиц ОКС в соответствии со степенью повреждения

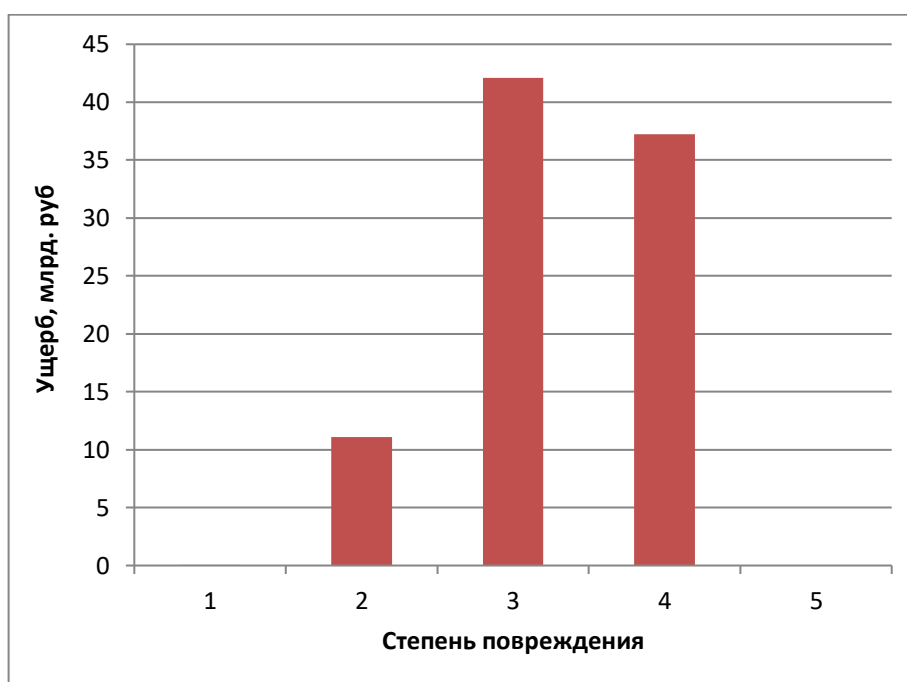


Рисунок 219 – Величина ущерба в соответствии со степенью повреждения

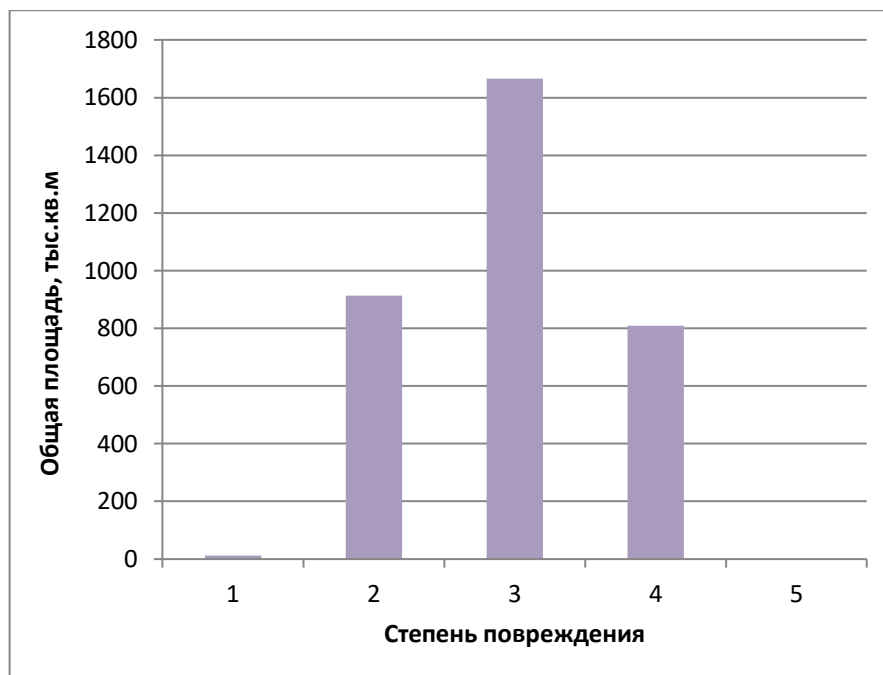


Рисунок 220 – Количество жилой площади в соответствии со степенью повреждения

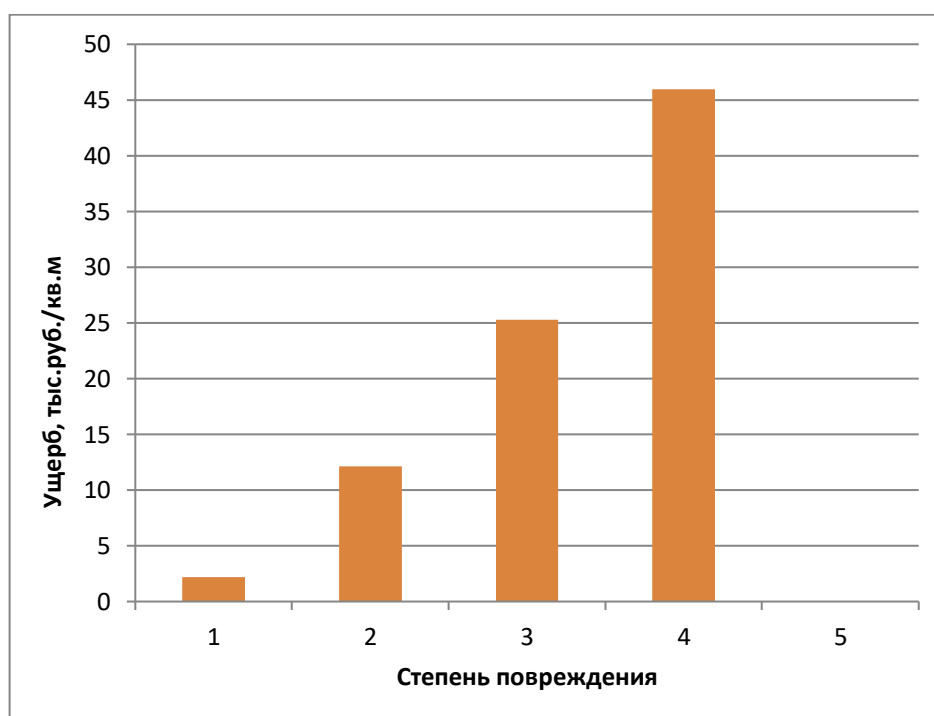


Рисунок 221 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии со степенью повреждения



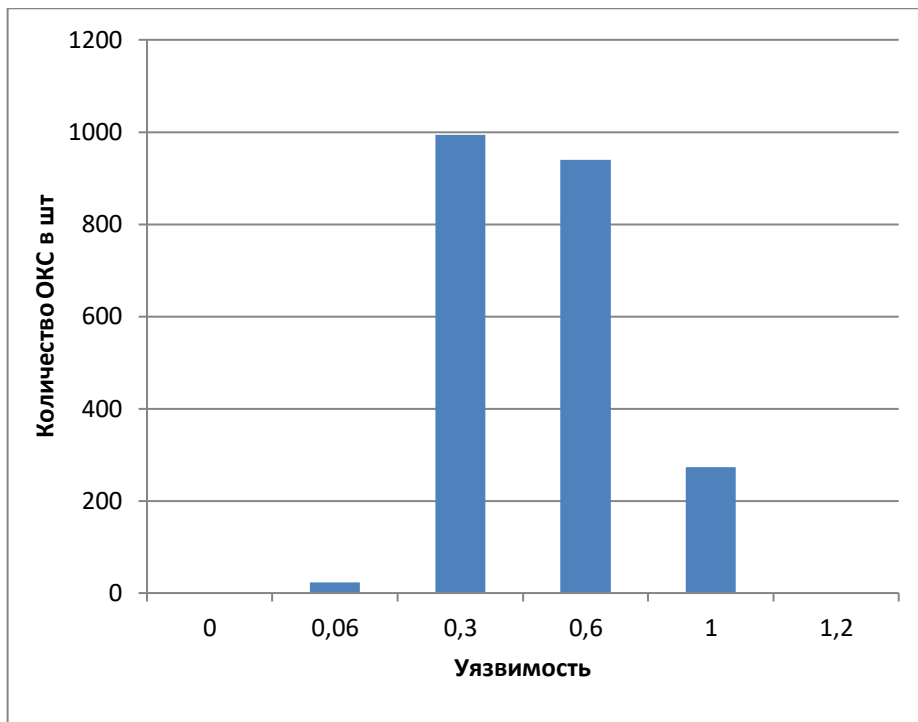


Рисунок 222 – Количество единиц ОКС в соответствии с уязвимостью

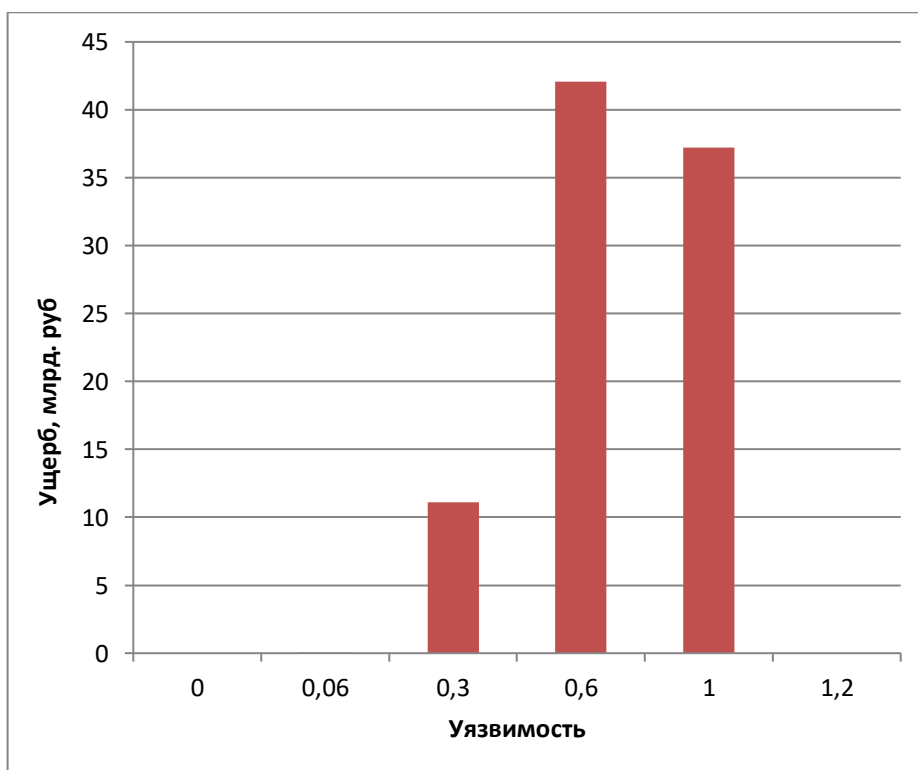


Рисунок 223 – Величина ущерба в соответствии с уязвимостью

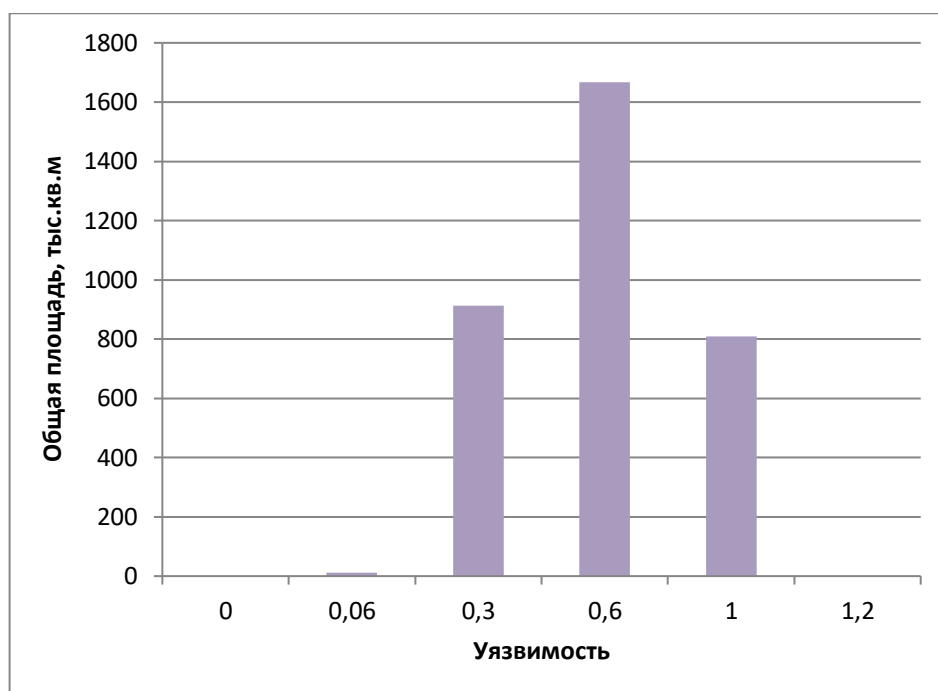


Рисунок 224 – Количество жилой площади в соответствии с уязвимостью

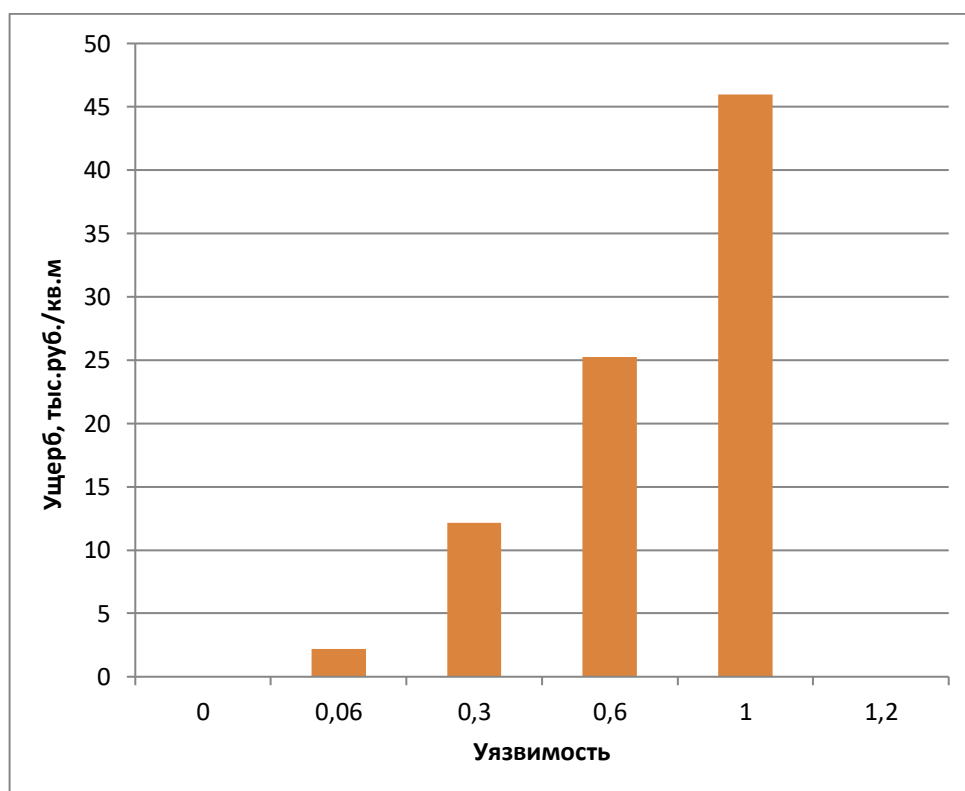


Рисунок 225 – Величина приведенного ущерба по жилой площади в соответствии с уязвимостью

## **5.6 Категории жилых зданий, наиболее подверженных сейсмическому воздействию**

По результатам проведенной апробации выполнен анализ жилого фонда нетипового массового строительства по характерным критериям подверженности.

Наиболее подверженными сейсмическому воздействию зданий в регионе Иркутская область являются здания этажностью 4-5 этажей. Подверженность составляет 3495 единиц с общей площадью порядка 12 млн.кв.м с суммарным возможным ущербом при гипотетическом землетрясении равном 323 млрд руб. Средний дефицит сейсмостойкости составил 1,5-2 балла

Для выявления наиболее подверженных категорий зданий в других регионах необходимо получить более качественные исходные данные.

## **5.7 Выводы по разделу 5**

Результаты апробации разработанной методики позволяют сделать о том, что разработанная методика позволяет получить количественные и качественные показатели дефицита сейсмостойкости жилой застройки.

На примере пилотных регионов удалось получить хорошие результаты, позволяющие сформировать представление о категориях жилых зданий наиболее подверженных сейсмическому воздействию, а также видение об основных путях повышения сейсмобезопасности зданий жилой застройки.

Также была установлена зависимость разработанной методики от качества получаемых данных от регионов. Региональные базы данных, качество которых оценивается как удовлетворительное, должны быть подвергнуты дополнительному анализу и расчетам с помощью уточняющих запросов и полученным обновленным исходным данным.

Разработанная методика хорошо себя зарекомендовала на пилотных регионах и оптимально подходит для проведения мониторинга дефицита сейсмостойкости в рамках страны.

## **6 Проведение экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилых зданий в сейсмоопасных регионах Российской Федерации**

Настоящий раздел содержит сведения по экспресс-мониторингу дефицита сейсмостойкости жилых зданий нетипового массового строительства в сейсмоопасных регионах Российской Федерации.

Мониторинг проводился на основании методики и критериев разработанных в разделе 2 настоящего отчета по НИР.

Специалистами АО «НИЦ «Строительство» были подготовлены запросы в 25 приоритетных сейсмоопасных регионов РФ (за исключением пилотных регионов, обработанных в разделе 5), имеющих нормированную сейсмическую опасность для жилых зданий нетипового массового строительства.

Запросы были направлены в регионы от Минстроя РФ по списку рассылки в соответствии с таблицей ниже (Таблица 40).

Таблица 40 – Список рассылки в приоритетные сейсмоопасные регионы РФ

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО должностного лица</b>	<b>Адрес доставки</b>
1.	Администрация Алтайского края	<a href="mailto:gubernator@alregn.ru">gubernator@alregn.ru</a>
2.	Администрация Кемеровской области – Кузбасса	<a href="mailto:postmaster@ako.ru">postmaster@ako.ru</a>
3.	Администрация Красноярского края	<a href="mailto:public@krskstate.ru">public@krskstate.ru</a>
4.	Администрация Новосибирской области	<a href="mailto:pochta@nso.ru">pochta@nso.ru</a>
5.	Администрация Республики Алтай	<a href="mailto:pochta@apra.gornyy.ru">pochta@apra.gornyy.ru</a>
6.	Администрация Республики Бурятия	<a href="mailto:adm@govrb.ru">adm@govrb.ru</a>
7.	Администрация Республики Саха (Якутия)	<a href="mailto:adm@adm.sakha.gov.ru">adm@adm.sakha.gov.ru</a>
8.	Администрация Республики Хакасия	<a href="mailto:gov@r-19.ru">gov@r-19.ru</a>
9.	Администрация Республики Тыва	<a href="mailto:ods@tuva.ru">ods@tuva.ru</a>
10.	Администрация Хабаровского края	<a href="mailto:priem.khv.gov.ru">priem.khv.gov.ru</a>
11.	Администрация Магаданской области	<a href="mailto:government@49gov.ru">government@49gov.ru</a>
12.	Администрация Приморского края	<a href="mailto:administration@primorsky.ru">administration@primorsky.ru</a>

13.	Администрация Сахалинской области	<a href="mailto:psosakhalin@gov.ru">psosakhalin@gov.ru</a>
14.	Администрация Чукотского автономного округа	<a href="mailto:admin87chao@chukotka-gov.ru">admin87chao@chukotka-gov.ru</a>
15.	Администрация Еврейской автономной области	<a href="mailto:gov@post.eao.ru">gov@post.eao.ru</a>
16.	Администрация Амурской области	<a href="mailto:mail@amurobl.ru">mail@amurobl.ru</a>
17.	Администрация города Севастополя	<a href="mailto:pravitelstvo@sevastopol.gov.ru">pravitelstvo@sevastopol.gov.ru</a>
18.	Администрация Республики Адыгея	<a href="mailto:kanc@adm.adygheya.ru">kanc@adm.adygheya.ru</a>
19.	Администрация Республики Дагестан	<a href="mailto:raa49@mail.ru">raa49@mail.ru</a>
20.	Администрация Республики Ингушетия	<a href="mailto:admin@ingushetia.ru">admin@ingushetia.ru</a>
21.	Администрация Кабардино-Балкарской Республики	<a href="mailto:glava@kbr.ru">glava@kbr.ru</a>
22.	Администрация Карачаево-Черкесской Республики	<a href="mailto:pisma@kchr.gov.ru">pisma@kchr.gov.ru</a>
23.	Администрация Республики Крым	<a href="mailto:sovmin@rk.gov.ru">sovmin@rk.gov.ru</a>
24.	Администрация Республики Северная Осетия-Алания	<a href="mailto:apinf@rso-a.ru">apinf@rso-a.ru</a>
25.	Администрация Ставропольского края	<a href="mailto:gsk@stavkray.ru">gsk@stavkray.ru</a>

В ответ на запросы Минстроя РФ были получены базы данных по зданиям и сооружениям жилого назначения от руководств муниципальных образований. Ответные письма и данные приведены в Приложении М.

Анализ полученных данных по зданиям и сооружениям жилого назначения выявил плохое качество входящих баз данных, связанных с отступлением от требований запроса.

Для получения приемлемых результатов специалистами АО «НИЦ «Строительство» была проведена работа по комбинированию полученных данных по запросам с материалами открытых баз данных Росреестра и фондов ЖКХ.

На основании поиска подходящих ресурсов были определены следующие наиболее подходящие источники: [70]; [71] и [72]. Описанные

ресурсы обладают базами более чем 1 миллиона ОКС, находящихся в ведомстве управляющих компаний.

Ниже (Таблица 41) приведена сводная статистика общего числа построенных домов в РФ данные по которым имеются на открытых ресурсах.

Таблица 41 –Сводная статистика общего числа построенных домов в РФ [70]

Год постройки	Число домов	Кол-во квартир	Суммарная площадь
2020 – 2023	11 570	1 807 282	148 731 685 м <sup>2</sup>
2010 – 2019	70 379	7 420 362	555 437 895 м <sup>2</sup>
2000 – 2009	43 686	3 680 127	286 534 970 м <sup>2</sup>
1990 – 1999	73 382	4 491 465	290 064 383 м <sup>2</sup>
1980 – 1989	155 474	8 752 970	517 830 704 м <sup>2</sup>
1970 – 1979	164 675	9 058 667	497 335 036 м <sup>2</sup>
1960 – 1969	178 167	6 969 850	357 020 188 м <sup>2</sup>
1950 – 1959	118 103	1 791 878	129 953 484 м <sup>2</sup>
1940 – 1949	27 971	268 547	19 435 373 м <sup>2</sup>
1930 – 1939	17 440	260 114	21 263 149 м <sup>2</sup>
1920 – 1929	6 123	72 252	5 522 655 м <sup>2</sup>
1910 – 1919	23 576	198 042	16 463 118 м <sup>2</sup>
1900 – 1909	5 689	65 907	6 711 142 м <sup>2</sup>
нет данных	52 716	—	95 118 755 293 м <sup>2</sup>
<b>Итого</b>	<b>948951</b>	<b>44837463</b>	<b>97 971 059 075 м<sup>2</sup></b>

По результатам анализа данных электронных ресурсов [70], [71],[72] были сформированы сводные базы данных по сейсмоопасным регионам.

Результаты расчетов дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства и проведения экспресс-мониторинга жилого фонда сейсмоопасных регионов РФ по методике и критериям, разработанным в разделе 3, приведены ниже.

На рисунках (Рисунок 226 - Рисунок 229) приведены результаты расчетов и ранжирование по разработанным критериям дефицита

сейсмостойкости от потенциального сейсмического события, нормированного по карте ОСР-А.

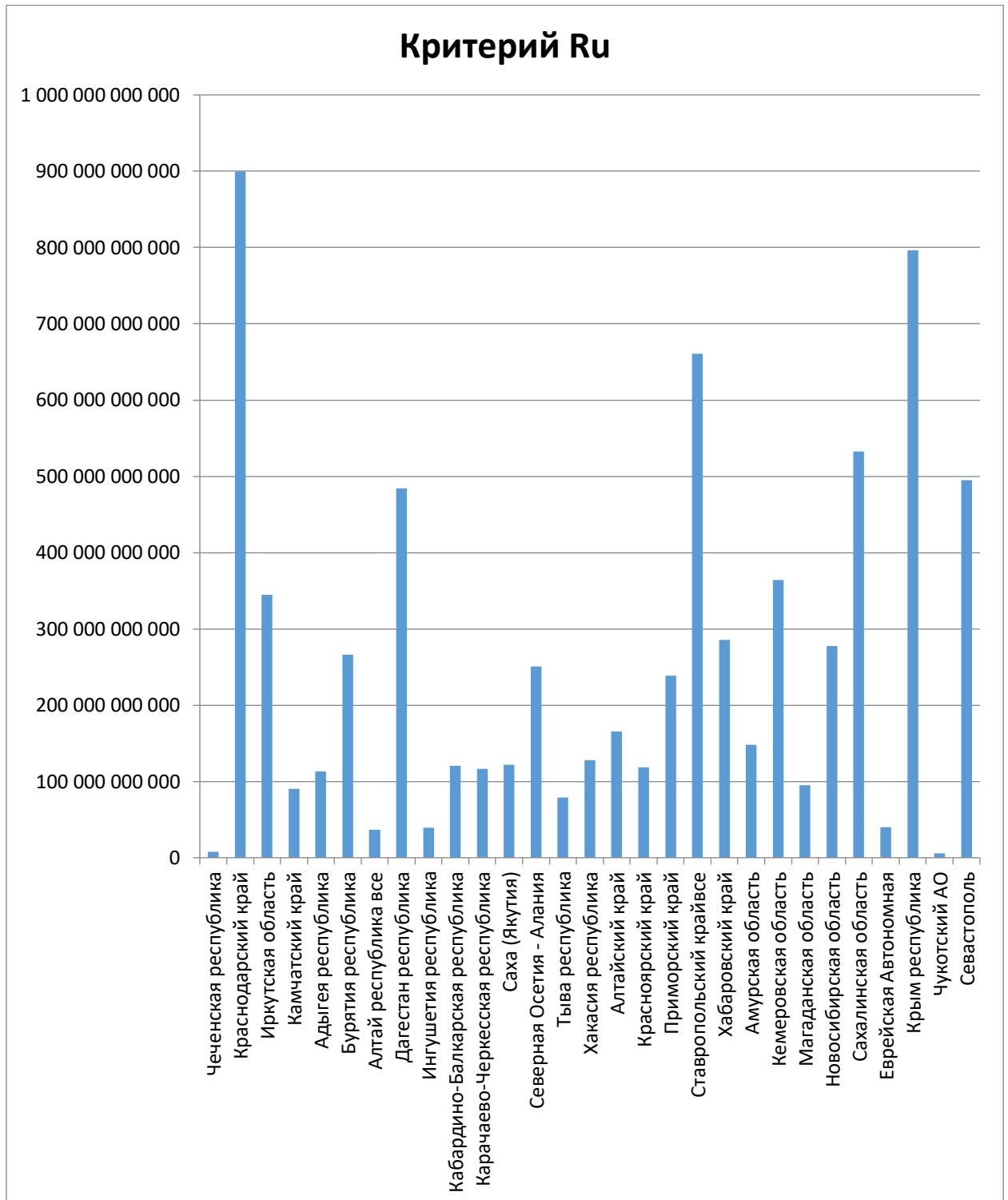


Рисунок 226 – Величина общего абсолютного ущерба от единичного сейсмического события для региона ( $R_u$ ). Карта ОСР-А

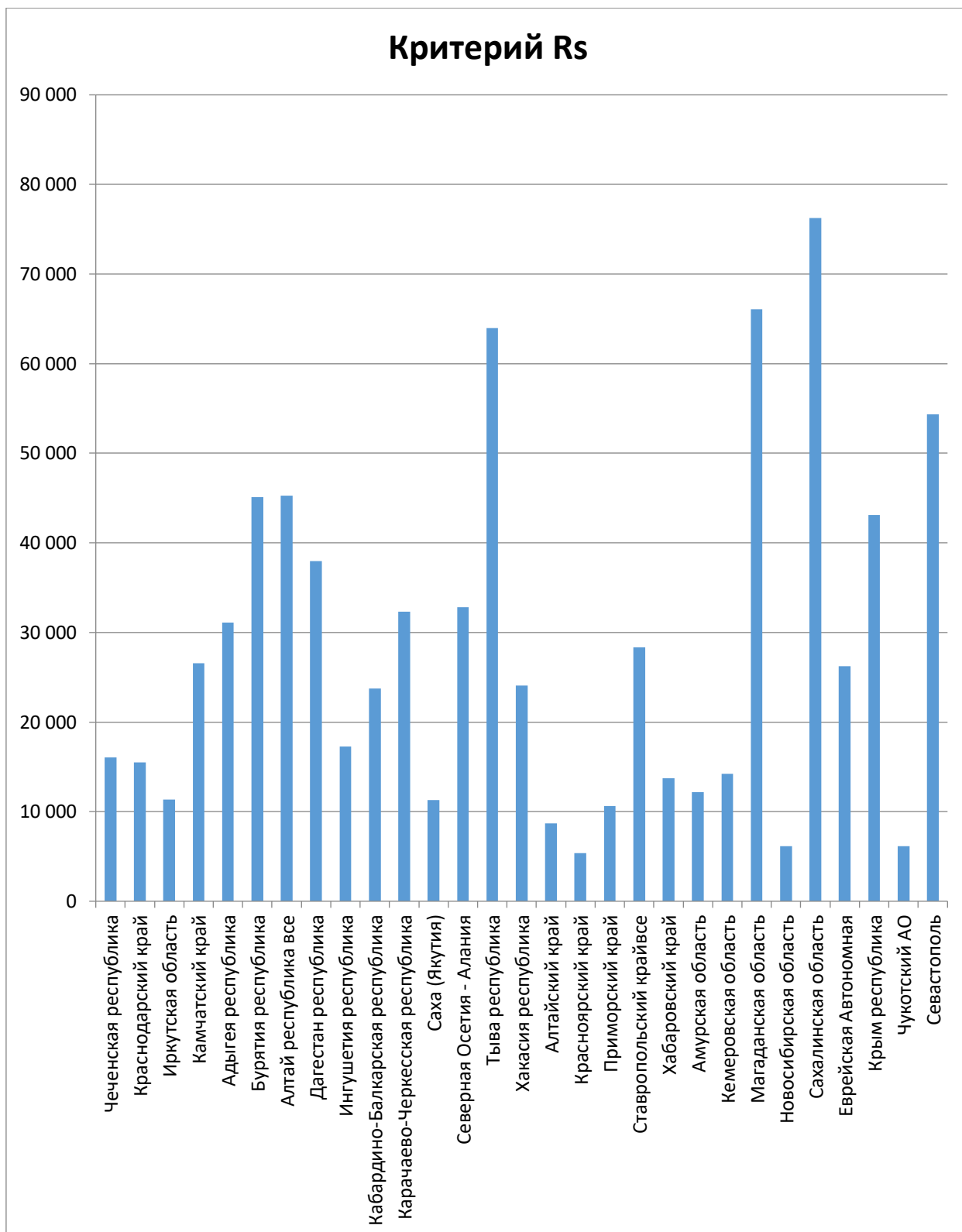


Рисунок 227 – Величина ущерба, отнесенная к общей площади застройки в регионе ( $R_s$ ). Карта ОСП-А



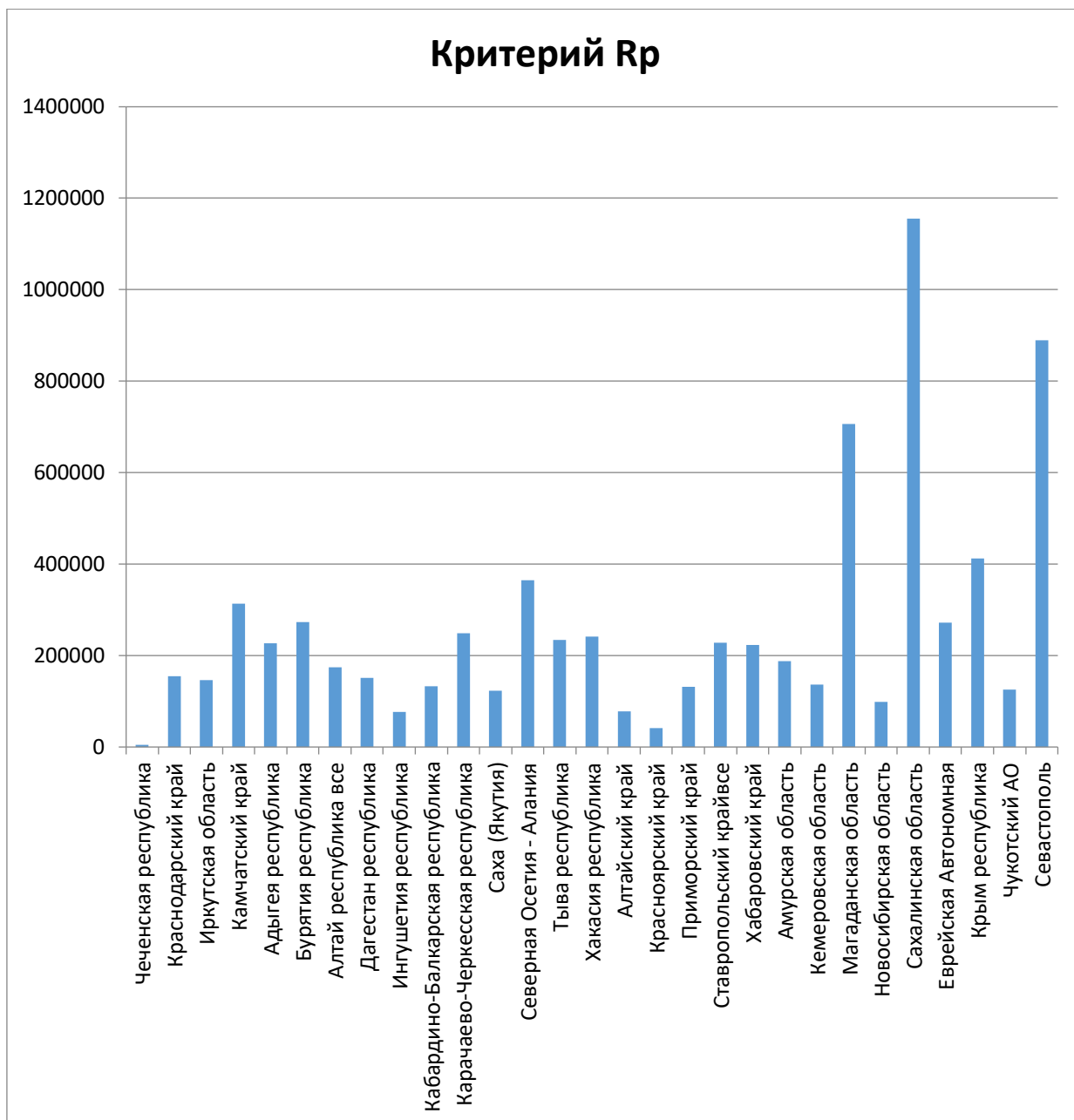


Рисунок 228 – Величина ущерба, отнесенная к численности населения по региону ( $R_p$ ). Карта ОСП-А

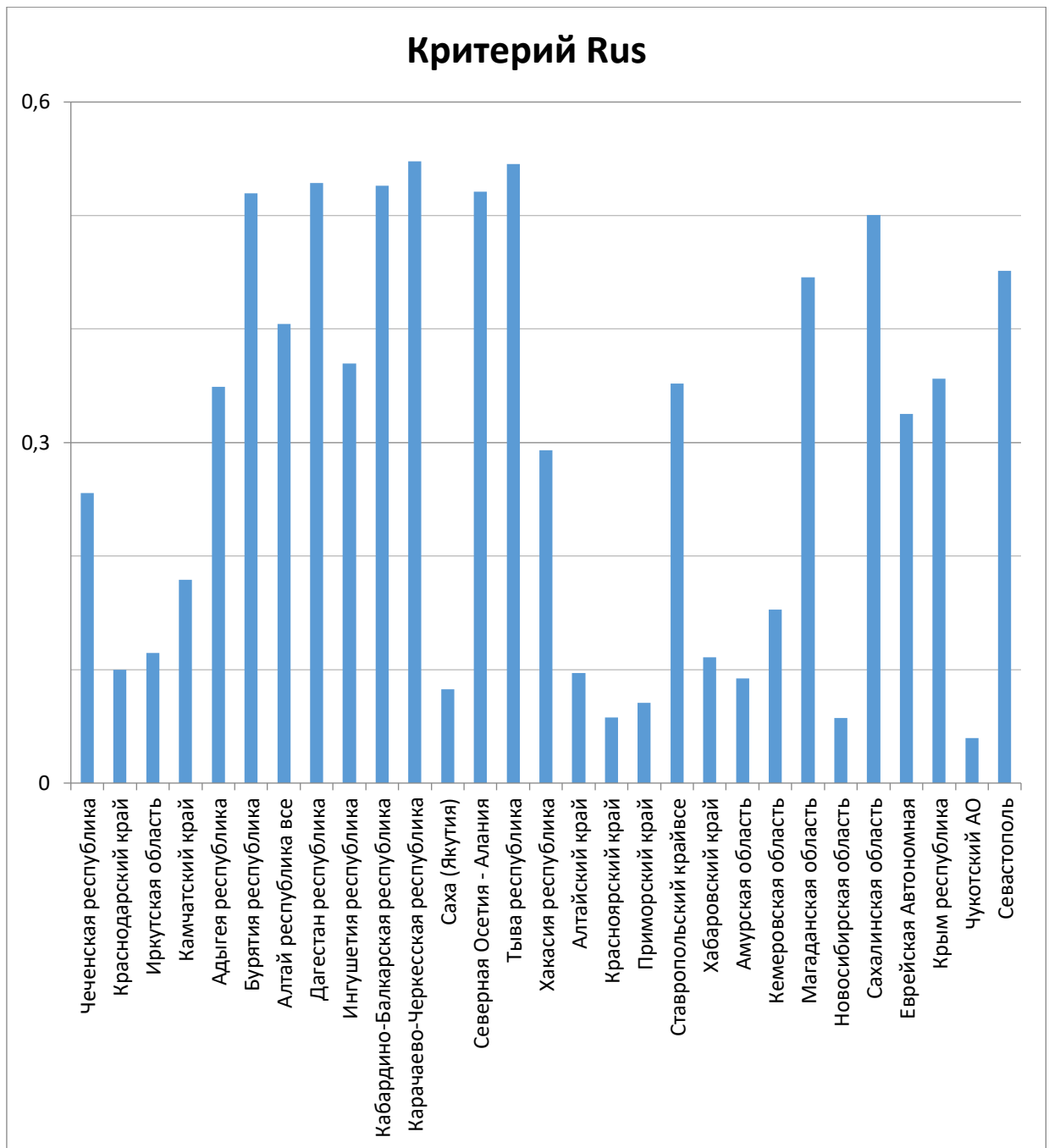


Рисунок 229 – Величина приведенного ущерба, отнесенная к стоимости строительства ( $R_{us}$ ). Карта ОСП-А

На рисунках (Рисунок 230 - Рисунок 233) приведены результаты расчетов и ранжирование по разработанным критериям дефицита сейсмостойкости от максимального единичного сейсмического события в регионе.

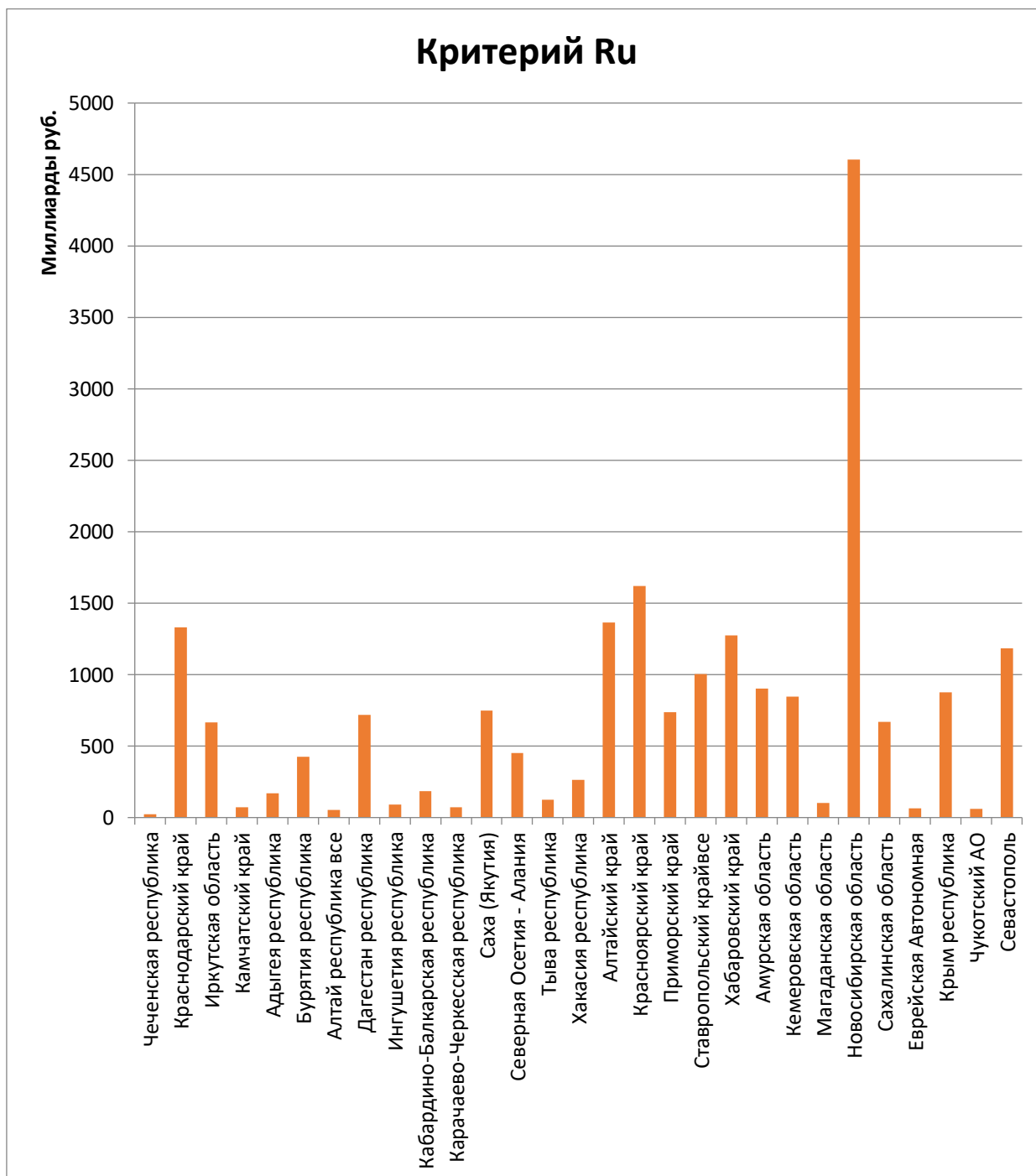


Рисунок 230 – Величина общего абсолютного ущерба от единичного сейсмического события для региона ( $R_u$ ). Максимальное единичное землетрясение

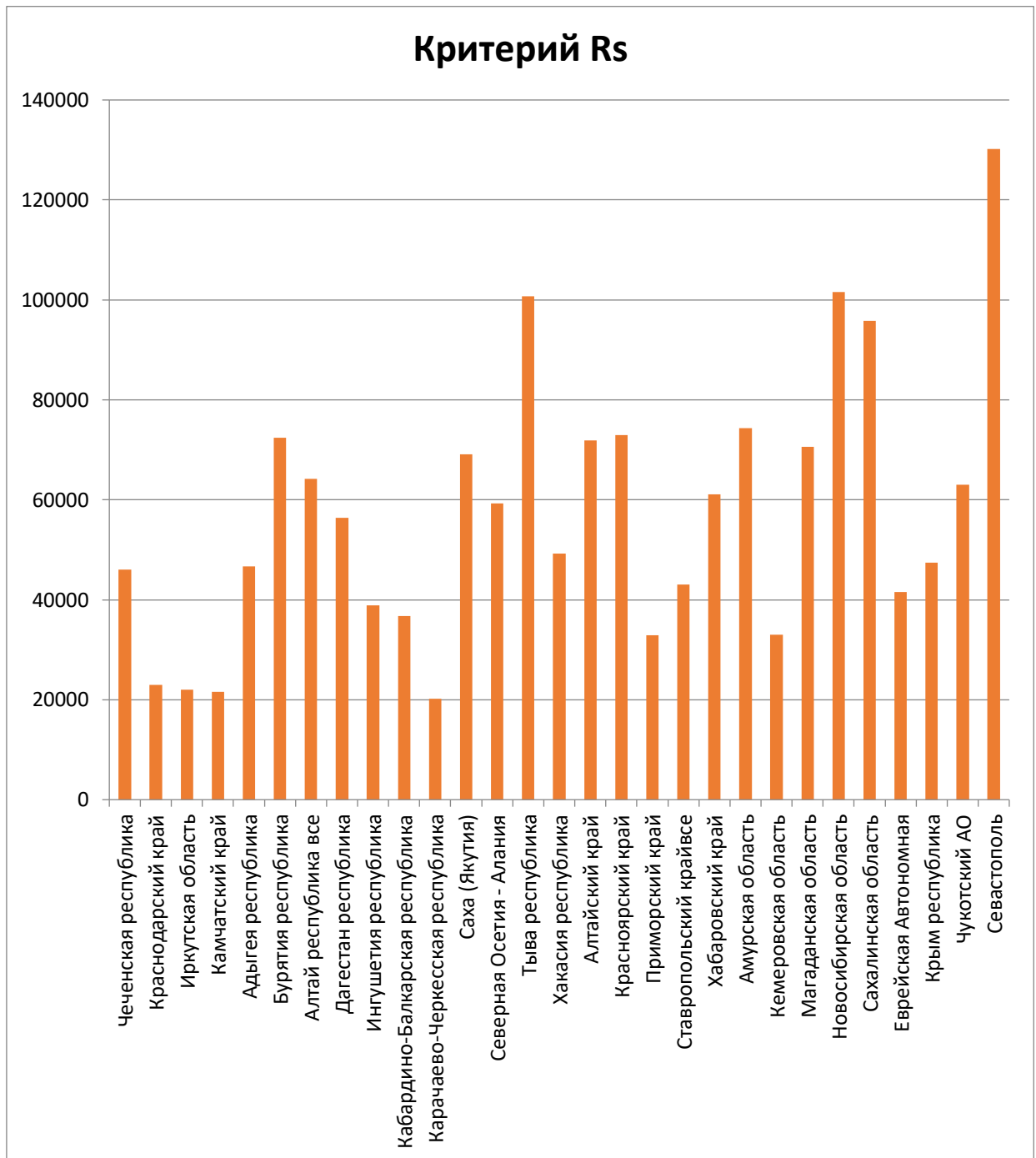


Рисунок 231 – Величина ущерба, отнесенная к общей площади застройки в регионе ( $R_s$ ). Максимальное единичное землетрясение

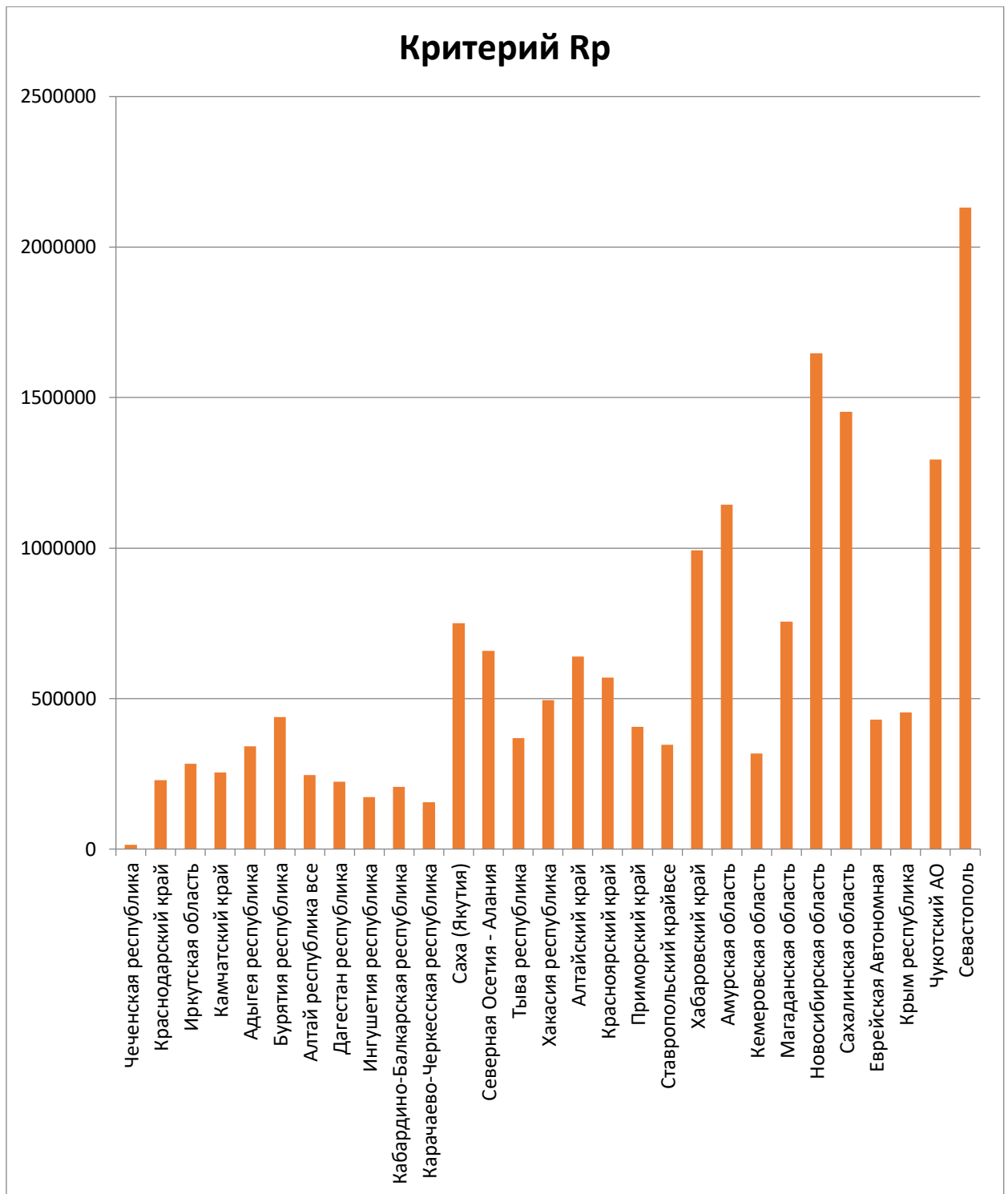


Рисунок 232 – Величина ущерба, отнесенная к численности населения по региону ( $R_p$ ). Максимальное единичное землетрясение

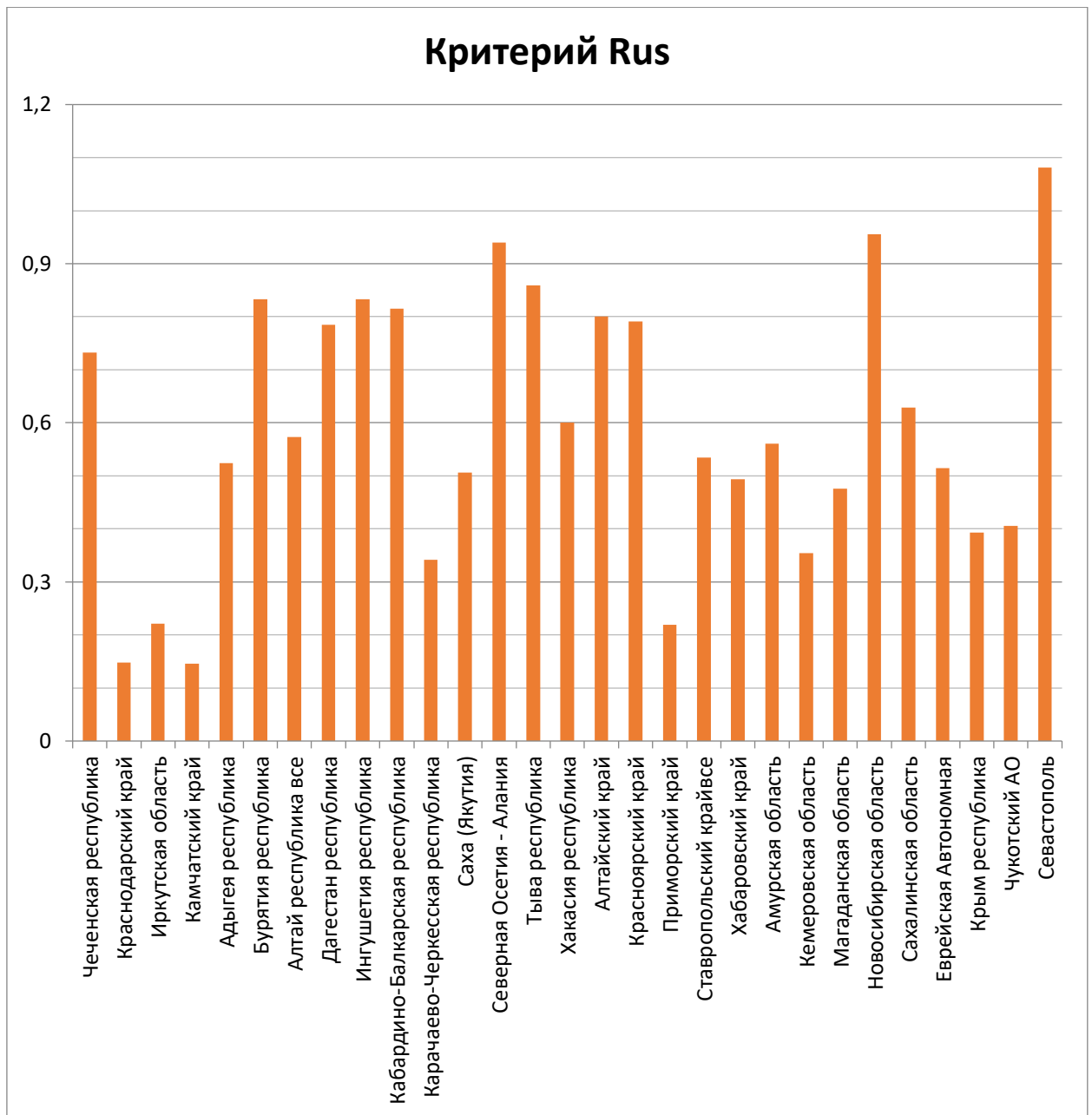


Рисунок 233 – Величина приведенного ущерба, отнесенная к стоимости строительства ( $R_{us}$ ). Максимальное единичное землетрясение

Разработанная методика и критерии оценки дефицита сейсмостойкости позволила с одной стороны провести экспресс-оценку дефицита сейсмостойкости зданий без проведения детального обследования технического состояния, а с другой стороны показывает качественную картину подверженности зданий с соответствующими характеристиками на основании которой легко идентифицировать приоритетные регионы для проведения детального анализа дефицита сейсмостойкости и целесообразности инвестиций в обновление или реконструкцию жилого фонда.

На основе предложенного в разделе 3.12 принципа ранжирования регионов для проведения паспортизации застройки с наиболее высоким уровнем дефицита сейсмостойкости, и полученных результатов в настоящем разделе подготовлен перечень первоочередных регионов для проведения паспортизации застройки

Перечень первоочередных регионов для проведения паспортизации застройки приведен в таблице ниже (Таблица 42).

Уровни приоритета в таблице нужно читать следующим образом:

- «1» - высокий приоритет;
- «2» - средний приоритет;
- «3» - низкий приоритет;

Таблица 42 – Перечень первоочередных регионов для проведения паспортизации застройки

№ п.п	Сейсмоопасные регионы РФ	Уровень приоритета очередности при максимальном единичном землетрясении	Уровень приоритет очередности при нормированном землетрясении ОСР-2015-А (500 лет)
1	Чеченская республика	1	3
2	Краснодарский край	3	3
3	Иркутская область	3	3
4	Камчатский край	3	3
5	Адыгея республика	2	2
6	Бурятия республика	1	2
7	Алтай республика все	2	2
8	Дагестан Республика	1	2
9	Ингушетия республика	1	2
10	Кабардино-Балкарская республика	1	2
11	Карачаево-Черкесская республика	2	2
12	Саха (Якутия)	2	3
13	Северная Осетия - Алания	1	2
14	Тыва республика	1	2
15	Хакасия республика	1	3
16	Алтайский край	1	3
17	Красноярский край	1	3
18	Приморский край	3	3
19	Ставропольский край все	2	2
20	Хабаровский край	2	3
21	Амурская область	2	3
22	Кемеровская область	2	3
23	Магаданская область	2	2
24	Новосибирская область	1	3
25	Сахалинская область	1	2
26	Еврейская Автономная	2	2
27	Крым республика	2	2
28	Чукотский АО	2	3
29	Севастополь	1	2



## **7 Основные пути повышения сейсмобезопасности зданий жилой застройки**

Основными путями повышения сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства является:

- Замена устаревшего жилого фонда, который будет разрушен в результате гипотетического землетрясения;
- Реконструкция жилого фонда, который получит серьезные повреждения в результате гипотетического землетрясения;
- Капитальный ремонт жилого фонда, который получит незначительные повреждения в результате гипотетического землетрясения.

Решение по повышению сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства должно приниматься по результатам уточненной оценки дефицита сейсмостойкости по методике в разделе 4.

Для повышения сейсмобезопасности ОКС по региону необходимо провести паспортизацию застройки с уточнением фактического технического состояния и фактической сейсмостойкости с дальнейшим уточнением дефицита сейсмостойкости категорий зданий.

На последующих этапах должны быть определены суммы необходимого финансирования для повышения сейсмостойкости и инициированы мероприятия по ремонту, реконструкции или замене жилого фонда.

## **8 Предложения по использованию результатов НИР при разработке нормативных документов**

Результаты отдельных этапов в ходе разработки НИР выделены в проекты следующих нормативных документов:

- Порядок оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений;
- Определение основных параметров сейсмического риска.

Также по результатам работ по НИР предложена форма паспорта сейсмостойкости ОКС.

Проект нормативного документа «Порядок оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений» приведена в Приложении Н .

Проект нормативного документа «Определение основных параметров сейсмического риска» приведена в Приложении П.

## 9 Результаты работ

Полученные в ходе работы над НИР результаты позволили:

- установить нормативный подход к оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства при выполнении экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости застройки (раздел 3);
- получить оценку дефицита сейсмостойкости зданий нетипового массового строительства по сейсмоопасным регионам Российской Федерации на основе результатов экспресс-мониторинга, выполненных с учетом имеющихся сведений государственных реестров (раздел 6);
- получить оценку потенциального ущерба от гипотетических сценариев сейсмических событий для различных сейсмоопасных регионов Российской Федерации (раздел 6);
- установить категории жилых зданий массового строительства, наиболее подверженных сейсмическому воздействию и провести их сопоставительный анализ в целях прогноза риска возможных последствий (раздел 6);
- разработать рекомендации по необходимым мероприятиям для различных регионов, направленным на повышение сейсмической безопасности жилой застройки на основе зданий нетипового массового строительства, в т.ч. установить обоснованное соотношение необходимого объема финансирования для определения объемов финансирования, выделяемого для повышения сейсмостойкости зданий существующей застройки регионов Российской Федерации (раздел 6);
- разработать перечень первоочередных регионов для проведения паспортизации застройки (раздел 6);
- наметить основные пути повышения сейсмотерриториальной безопасности территории Российской Федерации с учетом региональных особенностей (раздел 6).

## **10 Предложения по прикладному применению разработанной методики**

Данная методика рекомендуется в качестве нормативного подхода к оценке дефицита сейсмостойкости существующей застройки на основе зданий нетипового массового строительства при выполнении экспресс-мониторинга дефицита сейсмостойкости территории Российской Федерации, а также при выполнении уточненного анализа дефицита сейсмостойкости по уточненной (многофакторной) методики.

На начальном этапе, на основании разработанной методики необходимо разработать программный модуль для автоматизации всех расчетов, обработки и интерпретации результатов.

Далее необходимо инициировать процедуру актуализации баз данных в соответствии требованиями настоящего отчета с последующим проведением полноценных расчетов дефицита сейсмостойкости жилой застройки во всех сейсмоопасных регионах Российской Федерации.

На основе результатов анализа разработать перечень ОКС для проведения паспортизации по всем сейсмоопасным регионам.

Далее необходимо разработать программный модуль, позволяющий проводить расчеты дефицита сейсмостойкости и критериев на основе многофакторной методики, учитывающий эффективность освоения финансовых средств на те или иные мероприятия.

## **11 Перспективы развития разработанной методики**

В качестве перспективы развития предлагается разработка онлайн интернет ресурса, позволяющего подгружать исходные базы данных жилых ОКС по регионам с возможностью оперативного анализа и вывода полученных результатов. Данный ресурс должен постоянно пополняться базами вновь построенных или снесенных ОКС. Такое развитие дает возможность постоянного отслеживанию и онлайн-мониторинга дефицита сейсмостойкости жилой застройки на территории РФ.

Для оптимизации работы с методикой необходимо провести следующие корректировки методики:

- скорректировать форму региональных запросов, чтоб исключить предоставление некачественных данных;
- предусмотреть сбор данные с ресурсов управляющих компаний и иных фондов ЖКХ;
- включение в методику экспресс оценки дефицита сейсмостойкости категории «износа ОКС» для учета влияния работ по капитальному ремонту;
- добавить возможность присвоения географических координат каждому ОКС с помощью встроенного инструмента «геокодер»
- учет ущерба населению;
- учет ущерба инженерному оборудованию;
- учет технического состояния (аварийное или нет) в упрощенной методике;
- учет кумуляции ущерба от землетрясения с учетом социальных и экологических потерь;
- наложение ущерба от ОКС на карту для наглядности данных.

Также в качестве перспективы развития предлагается расширить область применения разработанной методики дефицита сейсмостойкости на здания промышленного и медицинского назначения, а также на здания ГО и ЧС.

Предлагается проведение гармонизации базы данных с базой сейсмологических исследований и уточнение в рамках этих процедур сейсмичности в региональном масштабе.

На базе данных рекомендуется разработать типовые проекты по усилению наиболее уязвимых видов зданий и сооружений

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. – М.: Наука, 1978.
- 2 Пособие по детальной паспортизации существующей застройки. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя России, 1991.
- 3 Методическое пособие по паспортизации зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. – Петропавловск-Камчатский: ДальНИИС Госстроя России, 1990.
- 4 Методика сертификации безопасности зданий и сооружений. – М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2002.
- 5 Отчет о научно-исследовательской работе: «Разработка инструментария для проведения мониторинга обеспечения комплексной сейсмобезопасности в сейсмических районах Российской Федерации и проведение такого мониторинга». отчет по результатам работы за 2011 г.» (2 этап) / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Москва, 2011.
- 6 Смирнов В.И. Критерии оценки дефицита сейсмостойкости существующих зданий и сооружений в рамках федеральной целевой программы / В.И. Смирнов, А.А. Бубис, П.А. Сушков, Н.Ю. Воронцова // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2012. № 4. С. 20–24.
- 7 СП 442.1325800.2019 «Здания и сооружения. Оценка класса сейсмостойкости».
- 8 СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах».
- 9 ГОСТ 57546-2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности».
- 10 ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга».
- 11 Комисарчик Р.Г. «Методы технического обследования ремонтируемых зданий». М: Стройиздат, 1975.
- 12 ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
- 13 Shah H., Wong F., Dong W., Lamarre M., Miyasate G. IRAS: An Expert System for Earthquake Insurance and Investment Risk Assessment: UNESCO

«Seismic Risk Assessment and Design of Building Structures», OMEGA SCIENTIFIC, 1991.

14 Shah H., Dong W. A Reevaluation of the Current Seismic Hazard Assessment Methodologies: Proc. of the 8 WCEE, vol. 7, 1984.

15 International Decade for National Disaster Reduction (IDNDR), Report 1990/1991.

16 Петровски Я. Прогноз и оценка потерь при землетрясениях. Труды рабочего заседания по вопросам оценки сейсмической опасности, 1990 (англ.).

17 Estimating Losses from Earthquake in China in the Forthcoming 50 Years: «Seismological Press», 1992.

18 Розен А. Подготовка к крупномасштабным спасательным работам: оценка ущерба от землетрясений для небольших городов. Труды рабочего заседания по вопросам оценки сейсмической опасности, 1990 (англ.).

19 Хило Р.Е., Попович Б.С. Усиление железобетонных конструкций с изменением расчетной схемы и напряженного состояния. Львов, Вища школа, 1976.

20 Anderson J. G., and Trifunac M. D. (1977). On Uniform Risk Functionals Which Describe Strong Earthquake Ground Motion: Definition, Numerical Estimation, and an Application to the Fourier Amplitude Spectrum of Acceleration, Report CE 77-02, University of Southern California, Los Angeles, U.S.A.

21 Assatourians K and Atkinson G. M. (2013). EqHaz: An open-source probabilistic seismic-hazard code based on the Monte Carlo simulation approach, Seismological Research Letters, 84(3): 516–524.

22 Быкова В.В., Татевосян Р.Э. Об основных принципах вероятностного анализа сейсмической опасности.

23 Atkinson G.M. (2012). The Integration of Emerging Trends in Engineering Seismology. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, September 24–28, 2012.

24 Atkinson G. M., Assatourians K. (2013). EqHaz: An Open-Source Probabilistic Seismic-Hazard Code Based on the Monte Carlo Simulation Approach, Seismological Research Letters Volume 84, Number 3, pp. 516–524.

25 Douglas MB, Ryall A (1975). Return periods for rock acceleration in Western Nevada, BSSA 65: 1599–1611.



- 26 Bender B., Perkins D. M. (1987) SEISRISKIII, A computer program for seismic hazard estimation: U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 48 p.
- 27 Bender B., Perkins D. M. (1982). SEISRISKII, A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. U.S. Geological Survey Open File Report 82–293. Washington, DC: Department of the Interior.
- 28 Cornell C.A., Vanmarcke E. H. (1969). The major influences on seismic risk. Proceedings of the 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1969.
- 29 Stanley L., Hanson P. C., Thenhaus M. C., et al. (1992). ANALYST'S MANUAL FOR USGS SEISMIC HAZARD PROGRAMS ADAPTED TO THE MACINTOSH COMPUTER SYSTEM, US Geological Survey Survey Bulletin, 1772, 70 p.
- 30 Development and Validation of Software CRISIS to Perform Probabilistic Seismic Hazard Assessment with Emphasis on the Recent CRISIS2015. 2017. *Computación y Sistemas*, Vol. 21, No. 1. 2017. p. 67–90.
- 31 Ebel J.E. and Kafka A.L. (1999). A Monte Carlo approach to seismic hazard analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America* 89 (4), 854–866.
- 32 Cristina D., Lawrence D., Hugo Y., et al. (1999). Seismic hazard assessment in the Northern Andes (PILOTO Project) *ANNALI DI GEOFISICA*, VOL. 42, N. 6, p. 1039–1055.
- 33 Engineering Seismology Toolbox – Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications URL: <https://www.seismotoolbox.ca/>
- 34 ERN – Earthquake Hazard Program [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <https://ern.com.mx/web/>
- 35 McGuire R. (1978). FRISK: Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 78–1007.
- 36 Mosca I., Sargeant S., Musson, R. M. W. (2015). Benchmarking recent PSHA approaches // SECED 2015 Conference: Earthquake Risk and Engineering towards a Resilient World 9-10 July 2015, Cambridge UK
- 37 Musson, R. M. W. (1999). Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan Region, *Annals of Geophysics*, 42, p. 1109-1124
- 38 Musson, R. M. W. (2000). The use of Monte Carlo simulations for seismic hazard assessment in the U.K. *Annali Di Geofisica*, N 43, p. 1-9.

39 Musson, R. M. W. (2000). The use of Monte Carlo simulations for seismic hazard assessment in the U.K. *Annals Geophysics*, 43, p.1-9

40 OpenQuake Engine – Program for computing seismic hazard [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <https://storage.globalquakemodel.org/openquake>

41 OpenQuake Engine – Program for computing seismic hazard [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <https://storage.globalquakemodel.org/openquake>.

42 McGuire R. K. (2008). Probabilistic seismic hazard analysis: Early history, *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2008; 37: 329–338.

43 Field E. H., Jordan T. H., Cornell C.A. (2003). OpenSHA: A Developing Community-Modeling Environment for Seismic Hazard Analysis, *Seismological Research Letters*, 74, no. 4, p. 406-419.

44 Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012. 176 с.

45 А.А. Гусев, Л.С. Шумилина. Моделирование связи балл-магнитуда-расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге, *Вулканонология и Сейсмология* 1999, №4-5, С. 29-40.

46 Информация по результатам проверки реализации мероприятий госпрограммы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан РФ», направленным на повышение устойчивости жилых домов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах страны.

47 ГОСТ 17623-87 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные. Ультразвуковой метод испытания».

48 ГОСТ 22690-88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля»

49 «Официальные термины и определения в строительстве, архитектуре и жилищно-коммунальном хозяйстве» - М., Минрегион России, Росстрой, ВНИИТПИ, 2007.

50 Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.- М.: Стройиздат, 1984.

51 ГОСТ 27.310-95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения».

52 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

53 СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

54 СП 270.1325800.2016 «Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила оценки повреждений дорог при землетрясениях в отдаленных и труднодоступных районах».

55 Смирнов В.М. Обеспечение комплексной сейсмобезопасности территории РФ в рамках федеральной целевой программы "Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009-2014 годы"/ В.М. Смирнов, А.А. Бубис, П.А. Сушков, Н.Ю. Воронцова // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. .–2012.– № 3.– С. 58-61.

56 А.Я. Сидорин, В.И. Уломов. «Вопросы инженерной сейсмологии». К публикации фрагментов Европейской макросейсмической шкалы EMS-98.

57 Смирнов В.М. Разработка инструментария для проведения мониторинга обеспечения комплексной сейсмобезопасности в сейсмических районах Российской Федерации. проведение мониторинга в рамках федеральной целевой программы / В.М. Смирнов, А.А. Бубис, П.А. Сушков, Н.Ю. Воронцова // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.–2013.– № 1.– С. 15-20.

58 Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009-2013 годы», ОАО «ПНИИИС», Москва, 2010.

59 Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам / АО ЦНИИПромзданий. - М.,– 2001.

60 Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК. – М.: Стройиздат, 1989.

61 Разработка технических решений по обеспечению сейсмической безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений в сейсмоопасных районах России с учетом требований повышения теплозащиты ограждающих конструкций. Федеральная Целевая Программа: Сейсмобезопасность территории России» под названием / МОАСС 2003 г.

- 62 СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах»
- 63 Шкала сейсмической интенсивности «MSK-64».
- 64 Разработка территориальных схем оценки уровней риска и сейсмостойкости зданий и сооружений» (II этап работ Гос. контракта №118 от 30 августа 2009г.)
- 65 Методические рекомендации по инженерному анализу последствий землетрясений / ЦНИИ строит. конструкций им. В. А. Кучеренко и др.; [Разраб. С. В. Поляков и др.]. - М. : ЦНИИСК, 1981. - 76 с.; 20 см.
- 66 Шебалин Н.В. Сильные землетрясения. Избр. труды [Текст] / Н.В. Шебалин. — М., 1997. — 542 с.
- 67 А.А. Александров, В.И. Ларионов, С.П. Суцев, Н.И. Фролова, Р.А. Гумеров «Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территорий».
- 68 ГОСТ 31937-2011 "Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния".
- 69 Градостроительный кодекс Российской Федерации N 190-ФЗ от 29.12.2004.
- 70 <https://dom.mingkh.ru/>. Электронный ресурс.
- 71 <https://gosgkh.ru/>. Электронный ресурс.
- 72 <https://xn--d1aqf.xn--p1ai/> Электронный ресурс.
- 73 Iglesias J (1989) The Mexico earthquake of September 19, 1985— Seismic Zoning of Mexico City after the 1985 Earthquake. *Earthquake Spectra* 5(1): 257–271.
- 74 Galvis F, Miranda E, Heresi P, et al. (2017) Preliminary statistics of collapsed buildings in Mexico City in the September 19, 2017 Puebla–Morelos earthquake. Technical Report, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford.
- 75 Tapia-Hernández E, García-Carrera JS. Damage assessment and seismic behavior of steel buildings during the Mexico earthquake of 19 September 2017. *Earthquake Spectra*. 2020;36(1):250-270. doi:10.1177/8755293019878186.
- 76 Bruneau, M., Anagnostopoulou, M., MacRae, G., Clifton, C., Fussell, A., “PRELIMINARY REPORT ON STEEL BUILDING DAMAGE FROM THE DARFIELD EARTHQUAKE OF SEPTEMBER 4, 2010”, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol.43, No.4, pp.351-359.

77 Hayes G et al, “THE 09/03/2010 DARFIELD EARTHQUAKE AND ITS AFTERSHOCKS, INCLUDING THE 02/21/2011 CHRISTCHURCH EVENT”, Educational Slides, US Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2011.

78 Clifton, George & Bruneau, Michel & Macrae, Gregory & Leon, Roberto & Fussell, Alistair. (2011). Steel structures damage from the Christchurch earthquake series of 2010 and 2011. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. 44. 297-318. 10.5459/bnzsee.44.4.297-318.

79 Okazaki, Taichiro & Lignos, Dimitrios & Midorikawa, Mitsumasa & Ricles, James & Love, Jay. (2013). Damage to Steel Buildings Observed after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Earthquake Spectra*. 29. 219. 10.1193/1.4000124.

80 Motosaka, M. , 2012. Lessons of the 2012 Great East Japan earthquake focused on characteristics of ground motions and building damage, *International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, 1–4 March 2012, Tokyo, Japan, 166–185.

81 Uang, C.M., Yu, Q.S., Sadre, A., Bonowitz, D., Youssef, N., 1995, Performance of a 13-Story Steel Moment-Resisting Frame Building Damaged in the 1994 Northridge Earthquake, SSRP-95/04, University of California, San Diego.

82 Youssef, N., Bonowitz, D., and Gross, J., 1995, A Survey of Steel Moment-Resisting Frame Buildings Affected by the 1994 Northridge Earthquake (NISTIR 5625), National Institute of Science and Technology.

83 Clifton, George Charles, and Gregory A. MacRae. “Lessons from the Field; Steel Structure Performance in Earthquakes in New Zealand from 2010 to 2016.” *Key Engineering Materials*, vol. 763, Trans Tech Publications, Ltd., Feb. 2018, pp. 61–71. Crossref, doi:10.4028/www.scientific.net/kem.763.61.

84 Storie, L.B., et al. Soil-foundation-structure-interaction for buildings on shallow foundations in the Christchurch Earthquake in Tenth US National Conference on Earthquake Engineering. 2014. Anchorage, Alaska: NCEE.

85 Clifton, G.C., et al. Performance of eccentrically braced framed buildings in the Christchurch earthquake series of 2010/2011. in 15th World Conference on Earthquake Engineering. 2012. Lisbon, Portugal: IAEE/Sociedade Portuguesa de Engenharia Seismica.

86 Kabeyasawa, Toshimi. (2017). Damages to RC school buildings and lessons from the 2011 East Japan earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 15. 10.1007/s10518-015-9825-z.

87 Perković, N.; Stepinac, M.; Rajčić, V.; Barbalić, J. Assessment of Timber Roof Structures before and after Earthquakes. *Buildings* 2021, 11, 528. <https://doi.org/10.3390/buildings11110528>.

88 Li, H. & Xiao, Shiyun & Huo, Linsheng. (2010). Lessons Learnt from Building Damages in the Wenchuan Earthquake. 3253-3261. 10.1061/41096(366)310.

89 Yamada, M., Ohmura, J., and Goto, H. (2017). Wooden Building Damage Analysis in Mashiki Town for the 2016 Kumamoto Earthquakes on April 14 and 16. *Earthquake Spectra* 33 (4), 1555–1572. doi:10.1193/090816eqs144m.

90 Nakamura Y and Fujii H (2021) Earthquake Damage Reduction in Timber Frame Houses Using Small-Size Fluid Damper. *Front. Built Environ.* 7:767741. doi: 10.3389/fbuil.2021.767741.

91 Committee to Analyze Causes of Building Damage in the Kumamoto Earthquake 2016 Final Report available at [http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi08\\_hh\\_000034.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi08_hh_000034.html) (last accessed 11 October 2017).

92 Foulser-Piggott, R. Spence, R. Eguchi, R. and King, A. 2016 Using remote sensing for building damage assessment: GEOCAN study and validation for 2011 Christchurch earthquake *Earthquake Spectra* 32 611–631.

93 Adem Doğangün; Ö.İskender Tuluk; Ramazan Livaoglu; Ramazan Acar (2006). Traditional wooden buildings and their damages during earthquakes in Turkey. , 13(6), 981–996. doi:10.1016/j.engfailanal.2005.04.011.

94 Chase, RE, Liel, AB, Luco, N, Baird, BW. Seismic loss and damage in light-frame wood buildings from sequences of induced earthquakes. *Earthquake Engng Struct Dyn.* 2019; 48: 1365– 1383. <https://doi.org/10.1002/eqe.3189>.

95 Galloway, Bruce; Hare, John; Brunson, Dave; Wood, Peter; Lizundia, Bret; Stannard, Mike (2014). Lessons from the Post-Earthquake Evaluation of Damaged Buildings in Christchurch. *Earthquake Spectra*, 30(1), 451–474. doi:10.1193/022813eqs057m.

96 Lulić, L.; Ožić, K.; Kišiček, T.; Hafner, I.; Stepinac, M. Post-Earthquake Damage Assessment—Case Study of the Educational Building after

the Zagreb Earthquake. *Sustainability* 2021, 13, 6353. <https://doi.org/10.3390/su13116353>.

97 OpenSHA – Program for computing seismic hazard [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <http://www.opensha.org/>

98 Ordaz M. Salgado-Gblvez M. A. (2017). R-CRISIS Validation and Verification Document. Technical Report. Mexico City, Mexico.

99 Pagani, D. Monelli, G. Weatherill, et al. (2014). OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters* Volume 85, Number 3, 692-702 p.

100Pagani, D. Monelli, G. Weatherill, et al. (2014). OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters* Volume 85, Number 3, 692-702 p.

101R-CRISIS – Program for computing seismic hazard [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <http://www.r-crisis.com/>

102Robinson, D., Fulford, G., Dhu, T., 2005. EQRM: Geoscience Australia’s Earthquake Risk Model. Technical Manual Version 3.0. Geoscience Australia Record 2005/01

103Shapira, A. (1983). Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process, *Tectonophysics* 95(1), 75-89

104SHARE – European project for probabilistic seismic hazard assessment [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <http://www.share-eu.org>

105SHARE – European project for probabilistic seismic hazard assessment [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <http://www.share-eu.org>

106Stanley L. David M. P. (1985). Auxiliary Programs For Support of Seismic Hazard Analysis: US Geological Survey Bulletin, 1772, 115 p.

107USGS – Earthquake Hazard Program [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL: <https://earthquake.usgs.gov/hazards/seisrisk.php>

108Weatherill G. A. (2009). A Monte Carlo Approach to Probabilistic Seismic Hazard Analysis in the Aegean Region / A Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. University of East Anglia

109Wells, D. L. and K. J. Coppersmith (1994). “New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement”. In: *Bulletin of the Seismological Society of America* 84.4, ages 974–1002.

- 110MILNE, W. G., DAVENPORT, A. G. (1969), Distribution of earthquake risk in Canada, *Bull Seismol Soc Am* 59, 729–754.
- 111Cornell C. A. (1968) Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1968; 58 (5): 1583–1606.
- 112Goda, K., H. P. Hong, and G. M. Atkinson (2010). Impact of using updated seismic information on seismic hazard in western Canada, *Can. J. Civ. Eng.* 37, no. 4, 562–575.
- 113Gupta I.D. (2007). Probabilistic seismic hazard analyses method for mapping of spectral amplitudes and other design-specific quantities to estimate the earthquake effects on manmade structures, *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 480, Vol. 44, No. 1, March 2007, pp. 127–167.
- 114Kijko A. (2011). Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis / *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Springer, 1-27.
- 115McGuire R. (1976). Fortran program for seismic risk analysis, U.S. Geol.Surv. Open-File Rept. 76-67.



## Приложение А. Паспорт сейсмостойкости ОКС

Паспорт № \_\_\_\_\_

### 1 Общие данные

1.1 Объект \_\_\_\_\_

1.2 Координаты \_\_\_\_\_

1.3 Фото

1.4 Схема

1.3	1.4
-----	-----

1.5 Регион \_\_\_\_\_

1.6 Регион \_\_\_\_\_

1.7 Улица \_\_\_\_\_

1.8 Дом \_\_\_\_\_ корп./стр. \_\_\_\_\_

1.9 Год постройки \_\_\_\_\_

1.10 Срок эксплуатации \_\_\_\_\_

1.11 Конструктивная схема \_\_\_\_\_

1.12 Материал несущих конструкций \_\_\_\_\_

1.13 Этажность \_\_\_\_\_

1.14 Высота/длина/ширина \_\_\_\_\_

1.15 Уровень ответственности \_\_\_\_\_

1.16 Наличие подвала (расположение) \_\_\_\_\_

1.17 Наличие антисейсмических швов (размеры, положение, парные стены и т.д) \_\_\_\_\_

1.18 Наличие антисейсмических поясов \_\_\_\_\_

1.19 Лестничные клетки и/или лифтовые шахты являются ядрами жесткости \_\_\_\_\_

1.20 Качество строительства \_\_\_\_\_

1.21 Наличие усиления (качество, состояние) \_\_\_\_\_

1.22 Наличие балконов, лоджий и эркеров \_\_\_\_\_

## **2 Результаты обследования ОКС**

2.1 Балльность по ОСР/ДСР/СМР \_\_\_\_\_

2.2 Категория грунтов \_\_\_\_\_

2.3 Тип грунтов \_\_\_\_\_

2.4 Оценка технического состояния здания ОКС \_\_\_\_\_

2.5 Тип уязвимости здания ОКС \_\_\_\_\_

2.6 Нагрузки \_\_\_\_\_

2.7 Вид фундамента \_\_\_\_\_

2.8 Фундаменты соответствуют п.6.2 СП 14.13330.2011 \_\_\_\_\_

2.9 Конструкции перегородок \_\_\_\_\_

2.10 Обеспечение диска перекрытия совместной работы с вертикальными элементами \_\_\_\_\_

2.11 Расстояние между поперечными стенами/ диафрагмами \_\_\_\_\_

2.12 Класс бетона/вид кладки/марка стали \_\_\_\_\_

## **3 Расчетный анализ ОКС**

3.1 Расчетная сейсмичность \_\_\_\_\_

### **4 Оценка сейсмостойкости ОКС**

4.1 Конструктивные особенности здания (сооружения) (Приложение Б):

Паспорт заполнил(а) (Ф. И. О., должность, организация, часть паспорта)

Дата заполнения \_\_\_\_\_

**Приложение Б. Конструктивные особенности ОКС  
Железобетонные конструкций**

	$S_{ki}$
Соответствие требованиям проектирования элементов железобетонных конструкций	0,07
В качестве ненапрягаемой рабочей арматуры принята свариваемая арматура классов А600, В500 или класса А400 марки 25Г2С	0,07
В несущих элементах не применяются стыкуемые дуговой сваркой отдельные стержни, сварные сетки и каркасы, а также анкерные стержни закладных деталей из арматурной стали марки 35ГС класса А400	0,07
В качестве напрягаемой арматуры использована стержневая горячекатаная или термомеханически упрочненная арматура классов А800 и А1000, стабилизированная арматурная проволока классов Вр1400, В1500 и В1600 и семипроволочные стабилизированные арматурные канаты классов К1500 и К1600	0,07
Применении арматурного проката с относительным удлинением при максимальном напряжении $\delta_{\max}$ не менее 2,5 %	0,06
При сейсмичности 9 баллов приняты арматурные канаты и стержневая арматура периодического профиля диаметром более 28 мм со специальными анкерами	0,07
Шаг хомутов во внецентренно сжатых элементах, а также в изгибаемых элементах, в которых учитывается продольная сжатая арматура, при сейсмичности 8 и 9 баллов не более 300, 400мм	0,065
Продольная арматура внецентренно сжатого элемента превышает 3 %, хомуты установлены на расстоянии не более 8d и не более 250 мм	0,06
В вязаных каркасах концы хомутов загнуты вокруг стержня продольной арматуры в направлении центра тяжести сечения и заведены внутрь бетонного ядра не менее чем на 6d хомута, считая от оси продольного стержня	0,07
Стыкование арматуры нахлестку без сварки, но с анкерными устройствами (кроме колонн) длина нахлестки на 30% больше значений, требуемых по действующим нормативным документам на бетонные и железобетонные конструкции (СП 63.13330)	0,07
В изгибаемых и внецентренно сжатых элементах стыки арматуры внахлестку со сваркой и без сварки расположены вне зон максимальных изгибающих моментов	0,07
В одном сечении стыкуется не более 50 % растянутой арматуры	0,06
В предварительно напряженных конструкциях с натяжением арматуры на бетон напрягаемая арматура располагается в закрытых каналах, замоноличиваемых бетоном или раствором прочностью не ниже прочности бетона конструкции	0,07

Напрягаемая арматура применяется в виде арматурных канатов, располагаемых в закрытых трубках без сцепления с бетоном	0,06
Несущая способность предварительно напряженных конструкций, превышает не менее чем на 25 % усилия, воспринимаемые сечениями при образовании трещин	0,07

### Железобетонные каркасные здания

	коэф.
Несущие конструкций здания высотой более 9 этажей приняты каркасы с диафрагмами, связями или ядрами жесткости	0,036
В конструктивной схеме зоны пластичности возникнут в первую очередь в горизонтальных элементах каркаса	0,036
Шаг, размер и загибание концов хомутов при 8 и 9 баллах соответствует п. 6.8.2, 6.8.2 СП 14.13330	0,035
Элементы сборных колонн многоэтажных каркасных зданий укрупнены на несколько этажей. Стыки сборных колонн расположены в зоне с наименьшими изгибающими моментами. Стыкование продольной арматуры в сборных элементах колонн внахлестку без сварки не выполнялось. Продольная арматура сборных элементов колонн длиной до 10,7 м состоит из целых стержней мерной длины	0,035
Ближайшие к контуру площадки передачи нагрузки плиты стержни поперечной арматуры располагают на расстоянии не ближе $1/3 h_0$ и не далее $1/2 h_0$ от этого контура. Ширина зоны размещения поперечной арматуры в обоих осевых направлениях не менее $2 h_0$ , считая от контура площадки передачи нагрузки	0,036
Поперечная арматура плиты состоят из стержней периодического профиля диаметром не менее 8 мм, которые соединены с продольной рабочей арматурой посредством контактной сварки или концевых отгибов (крюков). Шаг стержней поперечной арматуры — по нормам проектирования железобетонных конструкций	0,036
Общий процент армирования железобетонных колонн многоэтажных каркасных зданий с арматурой классов А400 и А500, А600 не должен превышать 6 % и 4%	0,036
Высокое насыщение колонн продольной арматурой при условии усиления приопорных участков колонн с помощью конструктивного косвенного армирования сварными сетками с размером ячейки не более 100 мм в количестве не менее четырех, располагаемыми с шагом 60 — 100 мм на длине (считая от торца элемента не менее $10d$ , где $d$ — наибольший диаметр стержней продольной арматуры). Сетки из арматуры классов А400, А500, В500 должны быть диаметром не менее 8 мм	0,036
Жесткие узлы железобетонных каркасов зданий усилены применением сварных сеток, спиралей или замкнутых хомутов	0,036

Участки ригелей и колонн, примыкающие к жестким узлам рам на расстоянии, равном полуторной высоте их сечения (но не более 1/4 высоты этажа или пролета ригеля), армируются замкнутой поперечной арматурой (хомутами), устанавливаемой не реже чем через 100 мм, а для рамных систем с несущими диафрагмами — не реже чем через 200 мм	0,035
Диафрагмы, связи и ядра жесткости, воспринимающие горизонтальную нагрузку, непрерывные по всей высоте здания и располагаются в обоих направлениях равномерно и симметрично относительно центра тяжести здания. В каждом направлении установлено не менее двух диафрагм, расположенных в разных плоскостях	0,036
В верхних этажах здания уменьшается число и протяженность диафрагм при сохранении симметричности их расположения в пределах этажа. Изменение сдвиговой (изгибной) жесткости диафрагм соседних этажей при этом не превышает 20 %, а длина диафрагмы жесткости менее высоты этажа	0,036
В здания с «гибким» нижним этажом при расчетной сейсмичности площадки строительства 8 и 9 баллов колонны выполнены стальными или с жесткой арматурой	0,036
В зданиях с безригельным каркасом максимальное расстояние между диафрагмами жесткости не превышает 12 м при отсутствии ядер жесткости	0,036
Максимальные расстояния между осями колонн в каждом направлении при безбалочных плитах и безбалочных плитах с капителями приняты при сейсмичности 7 баллов — 7,2 м, при сейсмичности 8, 9 баллов — 6,0 м	0,036
Толщина перекрытий с капителями и без них безригельного каркаса принята не менее 1/30 расстояния между осями колонн и не менее 180 мм, класс бетона — не ниже В20	0,035
Ширина сжатой зоны бетона принята не более трехкратной ширины колонн. На этой расчетной ширине в каждом осевом направлении размещено не менее 50 % общего количества продольной рабочей арматуры плиты, приходящейся на ширину одного пролета, 10 % площади всей рабочей арматуры, размещенной на указанной расчетной ширине плиты, пропущено сквозь тело колонны	0,035
Не менее 30 % всей продольной арматуры плиты установлено в форме групп протяженных сварных неразрезных каркасов, плоских вертикальных или пространственных прямоугольного или треугольного сечения. Такие каркасы в обоих осевых направлениях сосредоточены в составе полос усиленного армирования над колоннами, где не менее двух плоских каркасов или двух верхних стержней пространственного каркаса пропущены сквозь тело колонны, а также в составе арматуры, проходящей через срединные участки пролетов. Непрерывность этих каркасов в пределах общих габаритов перекрытия обеспечена стыковыми сварными соединениями продольных стержней каркасов. Эти стыковые	0,036

соединения располагаются в зонах минимальных изгибающих моментов по соответствующим осевым направлениям и имеют прочность не ниже нормативного сопротивления стыкуемых стержней	
В качестве ограждающих стеновых конструкций каркасных зданий приняты легкие навесные панели. Допускается устройство кирпичного или каменного заполнения, соответствующего требованиям п. 6.14.4, 6.14.5 СП 14.13330	0,035
Применение самонесущих стен из каменной кладки: при шаге пристенных колонн каркаса не более 6 м; при высоте стен зданий, возводимых на площадках сейсмичностью 7; 8 и 9 баллов, не более 12; 9 и 6 м соответственно	0,036
Конструкция узлов сопряжения каменных стен и колонн, диафрагм и перекрытий (ригелей) исключает возможность передачи на них нагрузок, действующих в их плоскости.	0,036
Прочность элементов стен и узлы их крепления к элементам каркаса соответствуют п.5.514.13330 и подтверждены расчетом на действие расчетных сейсмических нагрузок из плоскости	0,036
Кладка самонесущих стен в каркасных зданиях имеет гибкие связи с каркасом, не препятствующие горизонтальным смещениям каркаса вдоль стен	0,036
Между поверхностями стен и колонн каркаса предусматривается зазор не менее 20 мм	0,035
По всей длине стен в уровне плит покрытия и верха оконных проемов устраиваются антисейсмические пояса, соединенные с каркасом здания	0,036
При проектировании каркасных зданий кроме деформаций изгиба и сдвига в стойках каркаса учитываются осевые деформации, а также выполнен расчет на устойчивость против опрокидывания	0,036
В зданиях высотой до 12 этажей при применении железобетонных диафрагм или ядер жесткости используются каменные стены, связанные с колоннами и диафрагмами выпусками арматурных сеток, устанавливаемых с шагом по высоте в соответствии с требованиями 6.14.13 СП 14.13330. Сетки установлены по всей высоте стен	0,036
Связь стен с колоннами и диафрагмами по вертикали осуществляется не менее чем в трех точках, распределенных по высоте равномерно. Связь с перекрытиями осуществляется с шагом не более 3 м с постановкой связей в местах сопряжения колонн (диафрагм) и перекрытий (ригелей)	0,035

### **Здания со стальным каркасом**

	коэф.
Стальные колонны многоэтажных каркасов рамного типа замкнутого (коробчатого или круглого) сечения	0,1
Колонны рамно-связевых каркасов двутаврового, крестового или	0,1

замкнутого сечений	
Ригели стальных каркасов прокатные или сварные двутавры, с гофрированной стенкой	0,1
Стыки колонн отнесены от узлов и устроены в зоне действия наименьших изгибающих моментов	0,1
В колоннах рамных каркасов на уровне ригелей установлены поперечные ребра жесткости	0,1
Зоны развития пластических деформаций в элементах стальных конструкций вынесены за пределы сварных и болтовых соединений	0,1
Для ригелей рам сварных двутавров с плоской стенкой ее гибкость не более 50.	0,1
Опорные сечения ригелей стальных каркасов многоэтажных зданий развиты за счет увеличения ширины полок или устройства вутов.	0,1
Стыки ригелей с колоннами выполнены на высокопрочных болтах без увеличения опорных сечений ригелей	0,1
Для элементов, работающих в упругопластической стадии, применяется малоуглеродистая и низколегированная сталь с относительным удлинением не менее 20 %	0,1

### Здания с несущими стенами из монолитного железобетона

	коэф.
Перекрестно-стенная система с несущими или ненесущими наружными стенами или ствольно-стенная конструкция с одним или несколькими стволами	0,077
Внутренние поперечные и продольные стены зданий на площадках 8 и 9 баллов сквозные и без изломов в плане	0,077
Максимальное расстояние между несущими стенами не превышает 7,2 м	0,077
В зданиях с ненесущими наружными стенами не менее двух внутренних продольных и поперечных стен	0,077
Выступ части наружных стен в плане здания не превышает: для 7 и 8 баллов — 6,0 м, для 9 баллов — 3,0 м	0,077
Перекрытия монолитные, сборные и сборно-монолитные	0,077
Стены лоджий выполнены как продолжение наружных стен	0,077
Предусмотрено конструктивное армирование по полю стен вертикальной и горизонтальной арматурой площадью сечения у каждой плоскости стены не менее 0,05 % площади соответствующего сечения стены, в пересечениях стен, местах резкого изменения толщины стены, у граней проемов арматурой площадью сечения не менее 2 см <sup>2</sup> , объединенных замкнутым хомутом с шагом не менее 500 мм	0,077
Армирование монолитных стен выполнено пространственными каркасами, собираемыми из плоских вертикальных каркасов и горизонтальных стержней или плоских горизонтальных каркасов	0,077

В пространственных каркасах, используемых для армирования поля стен, диаметр вертикальной арматуры не менее 10 мм, а горизонтальной — не менее 8 мм. Шаг горизонтальных стержней, объединяющих каркасы, не превышает 400 мм. Армирование широких простенков выполнено диагональными каркасами	0,077
Стыкование стержней и арматурных каркасов (кроме колонн) осуществляется: в зонах 7 и 8 баллов при диаметре стержней до 20 мм внахлестку без сварки; в зонах 9 баллов внахлестку без сварки, но с «лапками» или с другими анкерными устройствами на концах стержней. При диаметре стержней более 20 мм соединение стержней и каркасов выполнено с помощью сварки независимо от сейсмичности площадки	0,077
Перекрытия армированы пространственными каркасами и их арматура заведена за грань проема, но не менее чем на 500 мм. Высокие перекрытия армированы диагональными каркасами	0,077
Вертикальные стыковые соединения стен армированы горизонтальными арматурными стержнями, площадь которых не менее 0,5 см <sup>2</sup> на 1 погонный метр шва в зданиях до пяти этажей на территориях 7 и 8 баллов и не менее 1 см <sup>2</sup> на 1 погонный метр шва в остальных случаях	0,076

#### **Здания со стенами из крупных блоков**

	коэф.
Стеновые блоки выполнены из бетонов, в том числе легких, а также изготовлены из кирпича или других штучных материалов с использованием вибрирования	0,077
Требуемое значение нормального сцепления кирпича (камня) с раствором в блоках не менее 120 кПа	0,077
Стены из крупных блоков: а) двухрядной и многорядной разрезки. Усилия в швах воспринимаются силами трения и шпонками. Число надземных этажей в таких зданиях не превышает трех на площадках сейсмичностью 7 баллов и одного на площадках сейсмичностью 8 баллов; б) двухрядной разрезки, соединяемые между собой с помощью сварки закладных деталей или арматурных выпусков; в) двухрядной разрезки, усиленные вертикальным ненапрягаемым или напрягаемым армированием; г) многорядной разрезки, усиленные вертикальными железобетонными включениями	0,077
Стеновые блоки армированы пространственными каркасами. Неармированные блоки на площадках сейсмичностью 7 баллов в зданиях высотой до трех этажей, на площадках сейсмичностью 8 баллов в одноэтажных зданиях	0,077
Стеновые блоки (как для наружных, так и для внутренних стен) применяются с пазами со шпоночной поверхностью на торцевых вертикальных гранях	0,077



Антисейсмические пояса в крупноблочных зданиях монолитные или сборно-монолитные из армированных блоков-перемычек. Блоки-перемычки соединяются между собой в двух уровнях по высоте путем сварки выпусков арматуры или закладных деталей с последующим замоноличиванием	0,077
В уровне перекрытий и покрытий, выполненных из сборных железобетонных плит, по всем стенам устроены антисейсмические пояса из монолитного бетона, объединяющие выпуски арматуры из торцов плит перекрытий и выпуски из поясных блоков	0,077
Связь между продольными и поперечными стенами обеспечена тщательным бетонированием вертикальных пазов примыкающих блоков, укладкой арматурных сеток в каждом горизонтальном растворе и антисейсмическими поясами	0,077
Стержни вертикальной арматуры установлены на всю высоту здания в углах, местах изломов стен в плане и сопряжений наружных стен с внутренними, в обрамлении проемов во внутренних стенах, по длине глухих стен не более чем через 3 м, по длине наружных стен — в обрамлении простенков	0,077
При непрерывном вертикальном армировании продольная арматура пропущена через отверстия в поясных блоках и стыкуют сваркой. Пазы в блоках в местах установки вертикальной арматуры заделаны бетоном на мелком щебне класса не менее В15 с вибрированием	0,077
Вертикальная ненапрягаемая арматура установлена преимущественно в теле стеновых блоков у их торцов и связана с арматурой блоков	0,077
Вертикальная арматура с последующим натяжением с обязательным инъецированием каналов высокомарочными растворами	0,077
Площадь сечения напрягаемой и ненапрягаемой вертикальной арматуры не менее 2 см <sup>2</sup>	0,076

### **Здания со стенами из кирпича или каменной кладки**

	коэф.
Несущие кирпичные и каменные стены выполнены из кладки на растворах со специальными добавками, повышающими сцепление раствора с кирпичом или камнем с заполнением всех вертикальных швов раствором	0,033
При расчетной сейсмичности 7 баллов возведены несущие стены зданий из кладки на растворах с пластификаторами без применения специальных добавок, повышающих прочность сцепления раствора с кирпичом или камнем	0,032
Выполнена кирпичная и каменная кладка при отрицательной температуре для несущих и самонесущих стен (в том числе усиленных армированием или железобетонными включениями) при расчетной сейсмичности 9	0,033

баллов и более	
При расчетной сейсмичности 8 баллов и менее выполнена зимняя кладка с включением в раствор добавок, обеспечивающих твердение раствора при отрицательных температурах	0,032
Для кладки несущих и самонесущих стен или заполнения каркаса приняты следующие изделия и материалы: а) полнотелый или пустотелый кирпич марки не ниже 100 с отверстиями размером до 16 мм; при расчетной сейсмичности 7 баллов с применением керамических камней марки не ниже 75; б) камни или блоки из ракушечников, известняков марки не менее 35 или туфов (кроме фельзитового) марки 50 и выше; в) для несущих стен применяются бетонные камни, сплошные и пустотелые блоки из легкого и ячеистого бетонов классов по прочности на сжатие не ниже В5, марок по средней плотности не менее D700; для самонесущих стен — классов по прочности на сжатие не ниже В2,5, марок по плотности не ниже D500; для ненесущих стен — классов по прочности на сжатие не ниже В 1,5, марок по плотности не ниже D500	0,032
Штучная кладка стен выполнена на смешанных цементных растворах марки не ниже 25 в летних условиях и не ниже 50 — в зимних или на специальных клеях. Для кладки блоков принят раствор марки не ниже 50 и специальные клеи	0,032
Высота этажа зданий с несущими стенами из кирпичной или каменной кладки, не усиленной армированием или железобетонными включениями, не превышает при расчетной сейсмичности 7, 8 и 9 баллов 5, 4 и 3,5 м соответственно. При усилении кладки армированием или железобетонными включениями высота этажа не превышает 6, 5 и 4, 5 м соответственно. При этом отношение высоты этажа к толщине стены не более 12	0,033
В зданиях с неполным каркасом при расчетной сейсмичности 7 — 8 баллов применяются наружные каменные стены и внутренние железобетонные или металлические рамы (стоек). Высота таких зданий не превышает 7 м	0,032
В зданиях с несущими стенами шириной более 6,4 м кроме наружных продольных стен присутствуют не менее одной внутренней продольной стены. Расстояния между осями поперечных стен или заменяющих их рам, при расчетной сейсмичности 7, 8 и 9 баллов не более 12, 18 и 18 м соответственно	0,033
Суммарная длина заменяющих рам не более 25 % суммарной длины внутренних стен того же направления. Расположенные рядом две заменяющие рамы одного направления отсутствуют	0,032
В зданиях из мелких ячеисто-бетонных блоков расстояние между стенами независимо от расчетной сейсмичности не превышает 9 м	0,033
Размеры элементов стен каменных зданий соответствуют требованиям, приведенным в таблице 10 СП 14.13330.2011	0,032

В уровне перекрытий и покрытий устроены антисейсмические пояса по всем продольным и поперечным стенам, выполненные из монолитного железобетона или сборные с замоноличиванием стыков и непрерывным армированием.	0,032
Антисейсмические пояса верхнего этажа связаны с кладкой вертикальными выпусками арматуры	0,032
Антисейсмические пояса в уровне этих перекрытий в зданиях с монолитными железобетонными перекрытиями отсутствуют.	0,032
Антисейсмический пояс (с опорным участком перекрытия) устроен, на всю ширину стены; в наружных стенах толщиной 500 мм и более, ширина пояса меньше на 100 — 150 мм. Высота пояса не менее 150 мм, класс бетона — не ниже В 12,5	0,032
Антисейсмические пояса армируют по расчету. Конструктивная продольная арматура должна быть не менее 4 d10 при расчетной сейсмичности 7 — 8 баллов и не менее 4 d12 — при 9 баллах	0,033
В сопряжениях стен в кладку уложены арматурные сетки сечением продольной арматуры общей площадью не менее 1 см <sup>2</sup> , длиной 1,5 м через 700 мм по высоте при расчетной сейсмичности 7 — 8 баллов и через 500 мм — при 9 баллах	0,032
Участки стен и столбы над чердачным перекрытием высотой более 400 мм армированы или усилены монолитными железобетонными включениями, заанкеренными в антисейсмический пояс. Стены по верху имеют обвязочный железобетонный пояс, связанный с вертикальными железобетонными сердечниками	0,033
Сейсмостойкость каменных стен здания повышена сетками из арматуры, созданием комплексной конструкции, предварительным напряжением кладки или другими экспериментально обоснованными методами	0,032
Вертикальные железобетонные элементы (сердечники) соединены с антисейсмическими поясами	0,032
Железобетонные включения в кладку комплексной конструкций устроены открытыми не менее чем с одной стороны и размером не менее 120 мм	0,032
Элементы каркасов с учетом работы заполнения выполнены в виде стен комплексной конструкции из кирпича усиленные монолитными железобетонными включениями антисейсмические пояса и их узлы сопряжения со стойками. Предусмотренные для бетонирования стоек пазы открытые не менее чем с двух сторон	0,032
Стены комплексной конструкции из кирпича выполнены с железобетонными включениями по торцам простенков, продольная арматура надежно соединена хомутами, уложенными в горизонтальных швах кладки. Бетон включений не ниже класса В 12,5, кладка выполнена на растворе марки не ниже 50, а количество продольной арматуры не превышает 0,8 % площади сечения бетона простенков	0,033
В зданиях с несущими стенами, с большой свободной площадью на	0,032

первых этажах применяются железобетонные или стальные несущие конструкции	
Перемычки устроены на всю толщину стены и заделаны в кладку на глубину не менее 350 мм. При ширине проема до 1,5 м заделка перемычек выполнена на глубину 250 мм	0,032
Балки лестничных площадок заделаны в кладку на глубину не менее 250 мм и заанкерены	0,032
Предусмотрены крепления ступеней, косяков, сборных маршей, связь лестничных площадок с перекрытиями	0,032
Устройство консольных ступеней, заделанных в кладку, отсутствует	0,032
Дверные и оконные проемы в каменных стенах лестничных клеток при расчетной сейсмичности 8 — 9 баллов имеют железобетонное обрамление	0,032
В зданиях высотой три этажа с несущими стенами из кирпича или каменной кладки при расчетной сейсмичности 9 баллов выходы из лестничных клеток устроены по обе стороны здания	0,032

### Деревянные здания

	коэф.
Деревянные здания запроектированы каркасными, панельными, брусчатыми и бревенчатыми (СП 64.13330.2011)	0,14
В каркасных и панельных зданиях сейсмическую нагрузку воспринимают вертикальные и горизонтальные элементы каркаса в сочетании с раскосами и обшивками	0,14
При возведении зданий с деревянным каркасом в построечных условиях деревянный каркас обшит досками, панельные здания — изготовлены из полносборных элементов	0,14
Брусчатые и бревенчатые стены собраны на нагелях	0,14
Выполнены анкерные соединения и надежные крепления деревянных конструкций к фундаменту здания	0,15
Соединение элементов каркасов (стоек, ригелей, раскосов) выполнены с помощью стальных накладок толщиной не менее 3 мм на болтах	0,15
Конструктивное решение узловых соединений и стыков обеспечивают совместность работы отдельных конструкций и элементов здания, а также его устойчивость	0,14

**Приложение В. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Иркутская область**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

## **Приложение Г. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Иркутская область**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

**Приложение Д. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Краснодарский край**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

## **Приложение Е. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Краснодарский край**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>



**Приложение Ж. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Чеченская республика**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

## **Приложение И. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Чеченская республика**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

**Приложение К. Исходные данные по зданиям нетипового массового строительства для пилотного региона Камчатский край**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

## **Приложение Л. Результаты расчета ущерба для пилотного региона Камчатский край**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

**Приложение М. Ответы и исходные данные для проведения  
экспресс мониторинга дефицита сейсмостойкости РФ**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

**Приложение Н. Проект документа «Порядок оценки дефицита сейсмостойкости зданий и сооружений»**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>

**Приложение П. Проект документа «Определение основных параметров сейсмического риска»**

Вследствие большого объема данных, материалы направлены на электронном носителе, а также доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/S2fE/GY4h2dvLT>